ISSN 1317-6781

Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat

BOLETÍN 72



Terremoto de La Guaira 2026: tres meses después

Caracterización, respuesta y lecciones para la reducción del riesgo

Edición especial, octubre 2026
Caracas, Venezuela

Academia Nacional
de la Ingeniería y el Hábitat

ACADEMIA NACIONAL DE LA INGENIERÍA Y EL HÁBITAT

BOLETÍN 72

EDICIÓN ESPECIAL

Caracas, Venezuela

Palacio de las Academias, Av. Universidad, con esquina La Bolsa a San Francisco, Zona Postal 1012,
Caracas, Venezuela. Teléfono: +58 0414 378 44 41
Correos-e: boletinanih@gmail.com / acadingven@gmail.com / url: www.acading.org.ve

INDIVIDUOS DE NÚMERO:

Sillón I Roberto Úcar Navarro, Sillón II Oscar Grauer, Sillón III Manuel Torres Parra, Sillón IV Nagib Callaos, Sillón V José C. Ferrer González, Sillón VI Asdrúbal A. Romero Mújica, Sillón VII Eduardo Roche Lander, Sillón VIII José Grases Galofre, Sillón IX Daniel Alejandro Salcedo Rodríguez, Sillón X Gonzalo J. Morales Monasterios, Sillón XI Oladis Troconis de Rincón, Sillón XII Griselda Ferrara de Giner, Sillón XIII Luís Giusti, Sillón XIV Alfredo F. Cilento Sarli, Sillón XV Werner Corrales Leal, Sillón XVI Víctor R. Graterol Graterol, Sillón XVII Eduardo Buroz Castillo, Sillón XVIII Arnoldo José Gabaldón Berti, Sillón XIX Vacante, Sillón XX Arturo José Almandoz Marte, Sillón XXI Vladimir Yackovlev, Sillón XXII Alfredo Avella Guevara, Sillón XXIII Dario Alfredo Viloria Vera, Sillón XXIV Vacante, Sillón XXV Marianela Lafuente, Sillón XXVI Franco Urbani, Sillón XXVII José Ochoa Iturbe, Sillón XXVIII Joaquín Benítez Maal, Sillón XXIX Eli Saúl Puchi, Sillón XXX Carlos Genatios Sequera, Sillón XXXI Rafael Isidro Quevedo Camacho, Sillón XXXII Vacante, Sillón XXXIII José Luis López Sánchez, Sillón XXXIV Walter James Alcock, Sillón XXXV Oscar Andrés López Sánchez.

MIEMBROS CORRESPONDIENTES NACIONALES:

Jesús Arnaldo Viloria Rendón, Nelson Hernández, Noel Santiago Mariño Pardo, Diego José González Cruz, Julián Aguirre, Alejandro J. Müller Sánchez, Martín Essenfeld Yahr, Rafael Lairet Centeno, Jesús Augusto Gómez Medina, Carlos Francisco Espinosa Jiménez, Laszlo Sajo Bohus, Eduardo Páez-Pumar Hernández, Sergio Marín Ernst, Lorenzo González Casas, Loraine Mayrim Giraud Herrera, Wagdi Naime Yehia, Edgar José Jaimes Cárdenas, Luis Alfonso Sandia Rondón, Gustavo Enrique Nouel Borges, Inírida Rodríguez Millán, Jonás Arturo Montilva Calderón y José Lisandro Aguilar Castro.

MIEMBROS CORRESPONDIENTES EXTRANJEROS:

Jacky Lesage (Francia), Edilberto Guevara (Perú), Paolo Maragno (Italia) y José Manuel Martínez Cabrero (España)

MIEMBROS HONORARIOS:

José Ignacio Moreno León, Mariana Henrriette Staia, Mireya Rincón de Goldwasser, Marco Negrón, Genoveva Sequera de Genatios, María Julia Gilabert de Brito, Alfonso José Linares Angulo, Carlos Machado-Allison, Julio César Ohep Cardier, Román Mayorga, Germán Uzcátegui Briceño, Herbert Lynch Blackman, Oscar Olinto Camacho, Rafael Eduardo Dávila Cárdenas, Ramón Germán Monzón Salas, Daniel Quintini Alizo, Luis Enrique Franceschi Ayala, José Germán Pacheco Troconis, Francisco José Layrisse Ramírez, Francisco Pimentel Malaussena, Aurelio Useche Kislinger, Juan Bautista Font Tono, Frank Marcano Requena, Jorge Baralt Torrijos, Alonso José Romero Martínez, Antonio Colino Martínez, Carmelo Ecarri Henríquez, Sonia Cedres de Bello, Miguel Nucete Hübner, Yajaira Elena Freites Ochoa, Riad Bujana Saldivia, Raúl Jesús Estévez Laprea, José María de Viana del Barrio, Ildefonso Pla Sentis y Rafael Eduardo Guevara Briceño.

La Academia de la Ingeniería y el Hábitat, rinde tributo a los miembros de esta Corporación fallecidos que durante su meritoria vida hicieron importantes aportes al país y a la institución.

Individuos de Número en orden de sillones †: I Alberto Méndez Arocha, II Marcelo González Molina, IX Alfredo Guinand Baldó, XI Efraín Barberii, XII Guido Arnal, XIV Rafael Tudela, XV Alberto Urdaneta, XVII Claus Graf, XVIII Roberto Pérez Lecuna, Sillón XIX César Quintini Rosales, XX Luís Enrique Oberto González, XXII Heinz Henneberg, XXIII David Darío Brillembourg, Sillón XXIV Simón Lamar, XXV Julio Martí, XXVI Hugo Pérez La Salvia, XXVII Rodolfo Moleiro, XXVIII Rubén A. Caro, XXIX Rafael Suárez, XXX Héctor Hernández Carabaño, XXXI Tomás Sanabria, XXXI Mario Paparoni Micale, XXXII Armando Vegas Sánchez, XXXII Roberto César Callarotti, XXXIII Aníbal Martínez y XXXV Humberto Peñaloza.

Miembros Correspondientes †: Francisco J. Larrañaga, Julián Aguirre Pe. y William Allan Wulf.

Miembros Honorarios †: José Raúl Alegrett Ruiz, Miguel Asdrúbal Arcia Montezuma, Eduardo Arnal, Víctor Artís García, Pedro Pablo Azpúrua, Oscar Benedetti Pietri, Miguel Bocco, Teolinda Bolívar Barreto, Gonzalo Castro Fariñas, Roberto Centeno, Salomón Cohén Levy, Juan Antonio Comerma Gutiérrez, Diego Ferrer Fernández, Gustavo Ferrero Tamayo, Celso Fortoul, Graziano Gasparini, Arévalo Guzmán Reyes, Joaquín Lira–Olivares, Freddy Leal Pinto, Víctor Maldonado Michelena, Eduardo Mendoza Goiticoa, Santos Michelena Carcaño, Roger Nava, Alberto Olivares, Ignacio Rodríguez Iturbe, Gustavo Rivas Mijares, Rodolfo Tellería y Santiago Vera Izquierdo.

COMITÉ DIRECTIVO
José Ochoa Iturbe: Presidente, Joaquín Benítez Maal: Vicepresidente, Alfredo Avella Guevara: Secretario, Inírida Rodríguez Millán: Secretaria asistente. Franco Urbani Patat: Tesorero y Marianela Lafuente: Bibliotecaria.

COMISIÓN EDITORA
José Luis López: Presidente, Norly Belandria: Secretaria, Wagdi Naime: Editor Boletín, Franco Urbani, Rafael Isidro Quevedo Camacho, Alfonso Linares, Griselda Ferrara, Teresa Borges, Heriberto Echezuría, Jorge Baralt Torrijos, Juan Fernando Marrero, Edilberto Guevara, Cheryl Linarez, Frank Audemard y Yajaira Olivo.

CONSEJO ASESOR
Eduardo Buroz C., Manuel Torres Parra, Marianela Lafuente, José Ochoa, Rafael Dávila C., Patricia Ramos C., Miguel Padrón, Joaquín Benítez M., Belkis Echenique, José Manuel Martínez, Gonzalo Morales, Vivían Floríndez, Jesús Gómez, Gilberto Castreje, Alfredo Cilento S., José Alberto O., Orlando Marín C., Alfredo Avella G., Félix Arroyo, Julio César Ohep, Noel Mariño, Inírida Rodríguez, Oscar Grauer, Ricardo Cuberos, Jorge A. Martínez, Paolo Maragno, Asdrubal Romero, Carmelo Ecarri, Eduardo Páez Pumar y Rafael Lairet.

Diseño y Diagramación: Lic. Dilia Pestana
Depósito Legal: pp200103CA232
ISSN: 1317-6781

El *Boletín* está registrado en:

http://bdigital2.ula.ve/bdigital/index.php/colecciones/revencyt

Código RVB019

https://latindex.org/latindex/ficha/2513

Los números anteriores pueden descargarse en https://acading.org.ve/boletin-de-la-anih/

Caracas – Venezuela
Edición especial, octubre 2026

La Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de la República Bolivariana de Venezuela, hace constar que las publicaciones que propicia, se realizan respetando el derecho constitucional a la libre expresión del pensamiento y, manifiesta que no se hace solidaria del contenido de las obras o trabajos publicados, ni de las ideas y opiniones que en ellos se emitan, las cuales son de exclusiva responsabilidad de los autores.

El *Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*, ANIH, es una publicación trimestral de carácter científico y técnico dedicado a divulgar trabajos originales en la temática de la ingeniería, el hábitat y áreas afines, tanto de nivel nacional como internacional y es también un instrumento divulgativo de los asuntos oficiales de la institución.

Los interesados en publicar sus artículos deberán enviarlos al correo electrónico *boletinanih@gmail.com* siguiendo el formato de presentación indicado en las *Normas para los Autores*, que se publican al final de esta edición y también disponible en los siguientes enlaces, en español e inglés: https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/NORMAS_PARA_LOS_AUTORES_DE_ARTICULOS_PARA_EL_BOLETIN_DE_LA_ANIH.pdf https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/INSTRUCTIONS_FOR_THE_AUTHORS.pdf

Todos los artículos que se publican en el Boletín son previamente sometidos a la revisión por pares con base en las *Normas de Arbitraje* disponibles en el siguiente enlace: https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/NORMAS_PARA_EL_PROCESO_DE_ARBITRAJE-1.pdf

ÍNDICE

BOLETÍN 72 ANIH
Edición especial, octubre 2026
Terremoto del 24 de junio de 2026 en Venezuela

ENSAYO-EDITORIAL

- Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela: caracterización del evento, respuesta del hábitat construido y lecciones para la reducción del riesgo sísmico. *Wagdi Naime Yehia* 7

SISMOTECTÓNICA, GEODINÁMICA Y AMENAZA SÍSMICA

- Geodinámica y sismotectónica de los sismos del estado La Guaira del 24 de junio de 2026, Venezuela Norcentral: gran ruptura multifocal. *Franck A. Audemard M.*..... 80
- Mapa de máximas intensidades sísmicas estimadas para Venezuela en el período 1530-2026. *Alejandro Liñayo, Gustavo A. Páez S. y María Virginia Uzcátegui*..... 93
- Aspectos conceptuales de varios mecanismos focales y sus efectos en los sismos y obras de ingeniería. *Heriberto Echezuría* 114
- Enseñanzas geológicas del doblete sísmico de La Guaira de 2026: implicaciones del modelo tectónico de la cuña de El Ávila. *Roque García Ruiz*.....125
- Aportes de la microzonificación sísmica para la mitigación del riesgo sísmico en Venezuela — avances y desafíos (compendio del TIA). *Michael Schmitz*.....145
- Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela: estructuras litosféricas en el norte de Sudamérica, comportamiento de las réplicas y la importancia de la microzonificación sísmica para la reconstrucción de La Guaira. *Michael Schmitz, Leonardo Alvarado, Rommel Contreras, Luis Manuel Hernández-Ramos y Antoine Mocquet*.....184

RESPUESTA ESTRUCTURAL, RESPUESTA DE SITIO, ASPECTOS GEOTÉCNICOS Y NORMATIVA SISMORRESISTENTE

- El sismo del 24 de junio de 2026 en Venezuela: análisis preliminar de daños en edificaciones en Caracas y La Guaira, y lecciones para la gestión del riesgo. *Marianela Lafuente*.....204
- Incompatibilidad entre pórticos y paredes de relleno de mampostería: lecciones recurrentes ratificadas tras el terremoto de La Guaira de 2026. *Alfredo Urich*.....220
- Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela. Revisión de la fuente sísmica, efectos de campo cercano, respuesta de sitio y lecciones para la normativa sismorresistente. *Carlos Genatios y Marianela Lafuente*.....231
- Respuesta estructural y control de calidad en obra: lecciones, debilidades y cambios necesarios tras el terremoto de La Guaira del 24 de junio de 2026. *Guillermo Bonilla* 247
- Manual monográfico de resiliencia urbana y blindaje estructural sismorresistente. *Marcos A. Rebonatto* 258
- Evidencias empíricas del impacto del comportamiento del suelo en la respuesta estructural de las edificaciones durante el terremoto del 24 de junio del 2026 en Venezuela. *Francisco Pinto* 268
- El terremoto de La Guaira del 24 de junio de 2026. *Oscar A. López, José G. Rengel, Valentina Páez, Romme Rojas, Ángelo Marinilli, Norberto Fernández, Ronald Torres, Eduardo Núñez, Gustavo Coronel D., Duilio Marcial, Luis Hernández, Trino Baloa, Anny Villegas, Rafael González, Marianela Lafuente, Ahmad Idrees, Ramón Mata, William Ascanio, Humberto Rengel, Alejandro Herrera* 275

INFRAESTRUCTURA VITAL, SERVICIOS PÚBLICOS Y OBRAS DE MITIGACIÓN

- Terremoto de Caracas y La Guaira del 24 de junio de 2026. Vulnerabilidad de accesos y servicios públicos. *Eduardo Páez-Pumar* 329
- Resiliencia y recuperación funcional de infraestructuras de telecomunicaciones ante desastres ambientales: Un enfoque de ingeniería y gobernanza. *José María de Viana*..... 343
- Evaluación del estado físico y funcional de las obras de mitigación de riesgos construidas en el Estado La Guaira a raíz de los deslaves de 1999. *José Luis López* 354

GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO, RESPUESTA RÁPIDA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

- Vargas, La Guaira: de los deslaves a los terremotos. *Carlos Genatios* 398
- Cartografía de respuesta rápida para la gestión de emergencias y desastres: Uso de fuentes secundarias en la evaluación de daños del evento sísmico denominado terremoto de La Guaira 24J, 2026. *Carlos González, Laura Ugas, Alfredo Ascanio, Ignacio Rincón, Ligia Cisneros y Rommel Contreras*..... 424
- Responsabilidades e incertidumbres en torno a la gestión municipal de los riesgos socionaturales y tecnológicos. *Raúl Estévez*..... 434
- Rediseño urbano y continuidad de operaciones post-sismo en el eje Caracas - La Guaira: Un modelo de prospectiva territorial basado en el control de intangibles y sintonización neurofisiológica. *Luis Gilberto Caraballo* 440

DIMENSIÓN SOCIAL, EDUCATIVA, JURÍDICA, HISTÓRICO-CULTURAL Y ECONOMÍA DEL RIESGO

- De la memoria sísmica a la educación sísmica: cómo actuar y aplicar protocolos de protección personal. Lecciones tras los sismos del 24 de junio de 2026. *Noel Mariño Pardo* 450
- El paradigma de la gobernanza como perspectiva teórica para la reconstrucción de las zonas afectadas por el doblete sísmico del 24 de junio de 2026 en Venezuela. *Luis Miguel Oviedo Rivas*..... 456
- Vulnerabilidad estructural y desafíos de conservación en el patrimonio religioso de Venezuela: Lecciones y evaluaciones tras el evento sísmico del 24 de junio de 2026. *Neptalí José Balza Ayaach y Antonio Montecalvo Di Fiore* 464
- Aproximación a la hagiografía sísmica de Venezuela. *José Antonio Rodríguez Arteaga, Alejandra Leal Guzmán y André Singer Michelle*..... 485
- Los terremotos de Venezuela: Cuando las pérdidas no tienen cobertura. *Luis Tineo*..... 496

SUPLEMENTO ESPECIAL

- Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela. Informe de reconocimiento sísmico de GEER. *Grupo GEER (Geotechnical Extreme Events Reconnaissance)*..... 500

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 7 – 79
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/168

ENSAYO - EDITORIAL BOLETÍN Nº 72 ANIH
EDICIÓN ESPECIAL 2026

LOS TERREMOTOS DEL 24 DE JUNIO DE 2026 EN VENEZUELA: CARACTERIZACIÓN DEL EVENTO, RESPUESTA DEL HÁBITAT CONSTRUIDO Y LECCIONES PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO

Wagdi NAIME

Tabla de contenido

Resumen **8**
1. Introducción **8**
1.1. Contexto y propósito 8
1.2. Metodología y organización 9
1.3. El evento del 24 de junio de 2026: visión de conjunto 9
2. Sismotectónica, geodinámica y amenaza sísmica **10**
2.1. Marco geodinámico y tectónico regional 10
2.2. Sismicidad histórica y caracterización de la fuente 14
2.3. Geología local y efectos de sitio 17
3. Respuesta estructural, respuesta de sitio, aspectos geotécnicos y normativa sismorresistente **21**
3.1. Daños, mecanismos de falla y evaluación del desempeño estructural 21
3.1.1. Mecanismos de daño y vulnerabilidades estructurales 21
3.1.2. Evaluación masiva de daños y desempeño por tipología estructural 26
3.2. Normativa sismorresistente y control de calidad 28
3.3. Respuesta de sitio e interacción suelo-estructura 35
3.4. Aspectos geotécnicos 42
3.4.1. Deformación del terreno y ruptura de superficie 42
3.4.2. Licuación y deformación permanente del terreno 46
3.4.3. Efectos en taludes y laderas 49
4. Servicios públicos y obras de mitigación **50**
4.1. Accesos, movilidad y servicios públicos 50
4.2. Presas, obras hidráulicas y control de torrentes 53
5. Gestión integral del riesgo, respuesta rápida y planificación territorial **55**
5.1. Vulnerabilidad territorial y respuesta al evento 55
5.2. Marco institucional y planificación territorial 58
6. Dimensión social, educativa, histórico-cultural y economía del riesgo **62**
6.1. Cultura, patrimonio y memoria del riesgo 62
6.2. Educación y gobernanza del riesgo 64
6.3. Impactos humanos, económicos y protección financiera 66
7. Discusión **69**
Caracterización del evento y la fuente sísmica 69
7.1. La naturaleza de la ruptura y la falla de Bruscas 69
7.2. La recurrencia secular y la memoria sísmica 70
7.3. La geología local y los efectos de sitio 70
Respuesta estructural y geotécnica 71
7.4. Los mecanismos de daño y la calidad de la construcción 71
7.5. La normativa sismorresistente y la instrumentación sísmica 71
7.6. La licuación, la interacción suelo-estructura y la respuesta de sitio 72
Infraestructura, servicios y gestión del riesgo 72
7.7. La resiliencia de la infraestructura y la interdependencia de las líneas de vida 72
7.8. La gestión del riesgo y la reconstrucción 73
Dimensión social, cultural y económica 73
7.9. La dimensión cultural y patrimonial del riesgo 73
7.10. La educación y la preparación ciudadana 74
7.11. La gobernanza y la organización social 74
7.12. La dimensión económica y la protección financiera 74
7.13. La dimensión humana de la recuperación 74
8. Conclusiones **74**
8.1. Sobre la caracterización del evento 74
8.2. Sobre la respuesta estructural y geotécnica 75
8.3. Sobre la infraestructura, los servicios y la gestión del riesgo 75
8.4. Sobre la dimensión social, educativa, cultural y económica 76
8.5. Lecciones aprendidas 76
8.5.1. La recurrencia de los eventos es un dato de diseño, no una posibilidad remota 76
8.5.2. El conocimiento técnico existía, pero no se tradujo en medidas preventivas 76
8.5.3. La calidad de la construcción es tan determinante como el diseño 77
8.5.4. La interdependencia de las líneas de vida amplifica los efectos del evento 77
8.5.5. La gobernanza del riesgo requiere continuidad institucional 77
8.5.6. La reconstrucción es una oportunidad para cerrar las brechas identificadas 77
8.5.7. La protección financiera es una condición de la resiliencia 77
Referencias 78

Resumen

El 24 de junio de 2026, dos sismos principales separados por aproximadamente 30 a 40 segundos afectaron el centro-norte de Venezuela. El primero, de magnitud Mw 7,2, con epicentro en el estado Yaracuy, asociado al sistema de fallas de Boconó. El segundo, de magnitud Mw 7,5, con epicentro en el mar Caribe, frente a la costa del estado La Guaira, asociado al sistema de fallas de San Sebastián y**,** según la identificación que se documenta en este ensayo**,** a la falla de Bruscas. La secuencia afectó un tramo de aproximadamente 200 a 250 km del límite de placas Caribe-Sudamérica y produjo los daños más devastadores en el estado La Guaira, el valle de Caracas y otras regiones del centro-norte del país.

Este número especial del Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat está dedicado al terremoto del 24 de junio de 2026 y a la gestión de riesgos. Se publica a los tres meses del evento, cuando la documentación de daños y el procesamiento de datos aún están en curso. El Boletín reúne 25 trabajos de autores venezolanos y el informe del Grupo GEER, que comprende 14 capítulos. Este ensayo integra todos esos materiales en una visión de conjunto del evento, sus efectos y las lecciones que deben extraerse para la gestión integral del riesgo de desastres en Venezuela.

El ensayo se organiza en cinco secciones temáticas, una discusión y unas conclusiones: la caracterización física del evento, la respuesta estructural y geotécnica, los servicios públicos y las obras de mitigación, la gestión integral del riesgo, la dimensión social, educativa, jurídica, histórico-cultural y económica, y una discusión que articula los hallazgos de todas las secciones. La caracterización de la fuente sísmica documenta una ruptura multifocal con propagación de oeste a este, la identificación de la falla de Bruscas como estructura asociada al segundo evento, y la posibilidad de un régimen super-shear con superposición de ondas. La recurrencia secular de los grandes terremotos está documentada por la coincidencia entre las intensidades máximas registradas en 2026 y las estimadas para los terremotos de 1812 y 1900.

La respuesta estructural y geotécnica documenta mecanismos de daño recurrentes**,** piso blando, columna corta, fallas de confinamiento y solape, corrosión, mampostería sin confinamiento**,** cuya persistencia después de más de cinco décadas de desarrollo normativo plantea la necesidad de revisar los criterios de diseño y evaluación. La calidad de la construcción y el control de calidad emergen como factores críticos en la explicación de los colapsos, aunque la atribución causal precisa requiere investigaciones forenses adicionales. La respuesta de sitio y los efectos locales explican la heterogeneidad de los daños por efectos de depósitos sedimentarios blandos y por efectos topográficos. La licuación y la deformación permanente del terreno afectaron a las edificaciones y la infraestructura en las zonas costeras bajas y en los abanicos aluviales. La interacción suelo-cimentación-estructura fue un factor determinante en la respuesta diferenciada de las edificaciones.

La infraestructura de servicios y de transporte presentó un desempeño heterogéneo. La interdependencia entre el sistema eléctrico y las redes de telecomunicaciones generó bucles destructivos en cascada que amplificaron los efectos del evento. La gestión del riesgo se ha caracterizado por una brecha persistente entre el conocimiento técnico disponible y las decisiones de inversión pública. La respuesta institucional demostró que el país cuenta con la capacidad técnica para organizar una evaluación masiva de daños, pero la gestión del riesgo requiere una estrategia integral que articule la microzonificación, la revisión normativa, la instrumentación sísmica, la evaluación de las obras de mitigación y la planificación local.

La dimensión cultural del riesgo comprende las representaciones sociales, las prácticas religiosas y los imaginarios colectivos que las comunidades han construido para interpretar y enfrentar los terremotos. La educación sísmica y la preparación ciudadana son condiciones de la efectividad de las medidas técnicas. La gobernanza del riesgo exige una transición desde el modelo clásico burocrático hacia un paradigma que involucre horizontalmente al Estado, la sociedad civil y el sector privado. La ausencia de protección financiera previa agravó el impacto económico del desastre. La dimensión humana de la recuperación condiciona la viabilidad de cualquier plan de reconstrucción.

El evento del 24 de junio de 2026 deja siete lecciones aprendidas que abarcan la recurrencia de los eventos, la brecha entre el conocimiento y la acción, la calidad de la construcción, la interdependencia de las líneas de vida, la dimensión social y política de la gestión del riesgo, la protección financiera y la reconstrucción como oportunidad para cerrar las brechas identificadas. La gestión integral del riesgo de desastres en Venezuela requiere articular la caracterización física del evento, la respuesta estructural y geotécnica, la resiliencia de la infraestructura, la gestión del riesgo y la dimensión social, educativa, cultural y económica. La reconstrucción de La Guaira y del litoral central ofrece una oportunidad para cerrar las brechas identificadas, pero solo si la planificación incorpora explícitamente las lecciones del evento y garantiza su implementación, su financiamiento y su continuidad en el tiempo.

El ensayo se organiza en cinco secciones temáticas, una discusión y unas conclusiones que articulan los hallazgos de todos los trabajos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y propósito

El evento del 24 de junio de 2026 consistió en dos sismos principales separados por aproximadamente 30 a 40 segundos. El primero, de magnitud Mw 7,2, nucleó en el estado Yaracuy, en el sistema de fallas de Boconó. El segundo, de magnitud Mw 7,5, se originó en el mar Caribe, frente a la costa de La Guaira, en el sistema de fallas de San Sebastián y en la falla de Bruscas. La secuencia afectó un tramo de aproximadamente 200 a 250 km del límite de placas Caribe-Sudamérica. Los daños más devastadores se produjeron en el estado La Guaira, el valle de Caracas y otras regiones del centro-norte del país.

El evento no fue inesperado desde el punto de vista tectónico. La región está sujeta a rupturas multifocales de magnitud elevada con recurrencia secular, como lo demuestra la comparación con los sismos de 1812 y 1900. Tampoco fue inesperado desde el punto de vista de la vulnerabilidad: las vulnerabilidades identificadas en estudios previos se manifestaron durante el evento. El terremoto evidenció la magnitud de las brechas entre el conocimiento técnico disponible y las decisiones de inversión pública, entre la normativa vigente y su aplicación efectiva, y entre la capacidad de respuesta del Estado y las necesidades de la población afectada. Esta brecha entre el conocimiento técnico disponible y las decisiones de inversión pública, entre la normativa vigente y su aplicación efectiva, y entre la capacidad de respuesta del Estado y las necesidades de la población afectada constituye el problema central que este ensayo busca documentar y analizar.

Este número especial del Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat está dedicado al terremoto del 24 de junio de 2026 y a la gestión de riesgos. Se publica a los tres meses del evento. El Boletín reúne 25 trabajos de autores venezolanos y el informe del Grupo GEER (Geotechnical Extreme Events Reconnaissance), que comprende 14 capítulos. Este ensayo integra todos esos materiales en una visión de conjunto del evento, sus efectos y las lecciones que deben extraerse para la gestión integral del riesgo de desastres en Venezuela. El ensayo no sustituye a los trabajos originales, los articula y los interpreta con una perspectiva integrada.

1.2. Metodología y organización

El ensayo se organiza en cinco secciones temáticas y una discusión final. Cada sección agrupa los trabajos que comparten un mismo objeto de análisis.

La primera sección, Sismotectónica, geodinámica y amenaza sísmica, aborda la caracterización física del evento: la geodinámica regional, la sismicidad histórica, la física de la fuente, la geología local y los efectos de sitio. La segunda sección, Respuesta estructural, respuesta de sitio, aspectos geotécnicos y normativa sismorresistente, analiza los daños y mecanismos de falla en edificaciones, la calidad de la construcción, el comportamiento del suelo y la interacción suelo-estructura. La tercera sección, Servicios públicos y obras de mitigación, documenta el desempeño de los accesos, la movilidad, los servicios públicos, las presas y las obras hidráulicas. La cuarta sección, Gestión integral del riesgo, respuesta rápida y planificación territorial, examina la vulnerabilidad territorial, la respuesta institucional y el marco legal de la gestión del riesgo. La quinta sección, Dimensión social, educativa, jurídica, histórico-cultural y economía del riesgo, aborda las representaciones culturales, la educación ciudadana, la gobernanza, la protección financiera y la dimensión humana de la recuperación. La Discusión articula los hallazgos de todas las secciones en torno a temas transversales que permiten interpretar el evento con una perspectiva de conjunto.

1.3. El evento del 24 de junio de 2026: visión de conjunto

La secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 consistió en dos eventos principales. El primero, de magnitud Mw 7,2, nucleó en la falla de Boconó, en el estado Yaracuy, a profundidades de 20 a 27 km. El segundo, de magnitud Mw 7,5, ocurrió aproximadamente 30 a 40 segundos después, con epicentro en el mar Caribe, frente a la costa de La Guaira, a profundidades someras de aproximadamente 10 km, asociado a la falla de San Sebastián y a la falla de Bruscas. La ruptura se propagó de oeste a este a lo largo de un tramo de aproximadamente 200 a 250 km del límite de placas Caribe-Sudamérica.

La caracterización de la fuente sísmica ha generado un debate terminológico. Se ha propuesto el término "sismo multifocal" o "secuencia multi-eventual" para describir la nucleación en el primer evento y la propagación hacia el este hasta liberar el grueso del momento sísmico en el segundo. Otros trabajos emplean el término "doblete sísmico". La diferencia terminológica no afecta la caracterización física del evento, que es consistente en todos los trabajos. A lo largo de este ensayo se emplean las expresiones de acuerdo a los usos de los autores reseñados y no implica desacuerdo sobre la caracterización física del evento, que es consistente en todos los trabajos. El debate terminológico completo se desarrolla en el apartado 2.1 y se retoma en la Discusión (7.1).

La severidad del evento no se explica únicamente por su magnitud. La posibilidad de un régimen super-shear y de una superposición de ondas ha sido planteada como un factor que pudo amplificar la destructividad del movimiento. La falla de Bruscas emerge como una estructura clave en la caracterización del evento, y su identificación como falla asociada al segundo evento plantea la necesidad de incorporarla en los mapas de amenaza sísmica y en la normativa sismorresistente.

La recurrencia secular de los grandes terremotos en Venezuela norcentral condiciona la forma en que las comunidades perciben y enfrentan la amenaza. Las intensidades máximas registradas en 2026 coinciden con las estimadas para los terremotos de 1812 y 1900, lo que confirma la recurrencia secular de eventos de magnitud elevada en la región. La recurrencia no es solo sísmica: los aludes torrenciales en La Guaira han ocurrido en 1999, 2005, 2010, 2011 y 2022, y la combinación de ambas recurrencias configura un escenario de riesgo compuesto.

Las cifras que se presentan a continuación provienen de la evaluación masiva de daños coordinada por el Comité Técnico Asesor del Terremoto (López et al., 2026), cuyo detalle metodológico se desarrolla en el apartado 5.2. Los daños se concentraron en el estado La Guaira, con 5.490 edificaciones con Etiqueta Roja de un total de 17.264 evaluadas, equivalente al 31,8% del total inspeccionado en esa entidad. La evaluación masiva de daños documentó 63.070 edificaciones inspeccionadas a nivel nacional, de las cuales 18% recibieron Etiqueta Roja y 24% Etiqueta Amarilla, con 1.529 colapsos totales o parciales. Los mecanismos de daño observados fueron recurrentes y ya habían sido identificados en terremotos anteriores. Su persistencia plantea la necesidad de revisar los criterios de diseño, del control de calidad y supervisión.

La infraestructura vital presentó un desempeño heterogéneo. La Autopista Caracas-La Guaira resistió sin daños importantes, mientras que la Carretera Panamericana colapsó por

derrumbes. El Aeropuerto Internacional Simón Bolívar sufrió daños graves y suspendió operaciones. El Puerto de La Guaira vio interrumpidas sus cadenas logísticas. Las presas de suministro de agua y las presas de control de sedimentos no mostraron daños estructurales significativos atribuibles al terremoto, aunque su capacidad operativa está comprometida por condiciones preexistentes. El acoplamiento entre el sistema eléctrico y las redes de telecomunicaciones produjo fallas en cascada que agravaron los efectos del evento.

La gestión del riesgo ha mantenido una brecha persistente entre el conocimiento técnico y las decisiones de inversión pública. La microzonificación sísmica, aunque desarrollada en varias ciudades del país, no se ha convertido en ordenanzas vinculantes en todos los casos. La normativa sismorresistente, aunque ha evolucionado desde 1939, no ha incorporado plenamente los criterios de campo cercano, directividad y carga secuencial. La evaluación de las obras de mitigación construidas tras los deslaves de 1999 revela que muchas han perdido su capacidad protectora por falta de mantenimiento sistemático. La calidad de la construcción, especialmente a partir de 1980, presenta deficiencias significativas que no fueron detectadas ni corregidas por los mecanismos de supervisión existentes.

La dimensión social, educativa, cultural y económica del riesgo añade componentes que no pueden reducirse a la reposición de infraestructura. Las representaciones sociales, las prácticas religiosas y los imaginarios colectivos condicionan la percepción del riesgo. La educación sísmica y la preparación ciudadana son condiciones de la efectividad de las medidas técnicas. La gobernanza del riesgo exige una transición desde el modelo clásico burocrático hacia un paradigma que involucre horizontalmente al Estado, la sociedad civil y el sector privado. La ausencia de protección financiera previa agravó el impacto económico del desastre y trasladó las pérdidas privadas hacia las finanzas públicas.

El ensayo integra estos hallazgos con una perspectiva de conjunto. Los articula y los interpreta para extraer las lecciones que deben guiar la reconstrucción de La Guaira y del litoral central, y la gestión integral del riesgo de desastres en Venezuela.

2. SISMOTECTÓNICA, GEODINÁMICA Y AMENAZA SÍSMICA

La caracterización física del evento del 24 de junio de 2026 se articula en torno a múltiples perspectivas complementarias: la geodinámica regional y la tectónica de placas, la sismicidad histórica y la recurrencia de grandes terremotos, la física de la fuente sísmica y los mecanismos de ruptura, la geología local y los efectos de sitio, y la microzonificación sísmica como herramienta de gestión del riesgo. Estas dimensiones permiten caracterizar el evento y sus efectos.

El evento del 24 de junio de 2026 consistió en dos sismos principales separados por aproximadamente 30 a 40 segundos: el primero, de magnitud Mw 7,2, con epicentro en el estado Yaracuy, asociado al sistema de fallas de Boconó, y el segundo, de magnitud Mw 7,5, con epicentro en el mar Caribe, frente a la costa del estado La Guaira, asociado al sistema de fallas de San Sebastián. La secuencia afectó un tramo de aproximadamente 200 a 250 km del límite de placas Caribe-Sudamérica y produjo los daños más devastadores en el estado La Guaira, el valle de Caracas y otras regiones del centro-norte del país. La caracterización de este evento requiere articular la escala geodinámica regional con la mecánica de fractura en la fuente, las deformaciones de superficie observadas por percepción remota, el comportamiento estadístico de las réplicas y la memoria histórica del territorio.

En el ámbito de la sismotectónica, la geodinámica y la amenaza sísmica, la caracterización del evento se apoya en los aportes sobre la geodinámica regional y la tectónica de placas (Audemard, 2026), la sismicidad histórica y la recurrencia de grandes terremotos (Liñayo et al., 2026), la física de la fuente sísmica y los mecanismos de ruptura (Echezuría, 2026), la geología local y los efectos de sitio (García, 2026), y la microzonificación sísmica como herramienta de gestión del riesgo (Schmitz et al., 2026 y Schmitz, 2026). Los capítulos 3, 4 y 5 del GEER complementan estos aportes con la caracterización del contexto tectónico y geodinámico, el detalle geológico local de las zonas más afectadas y la caracterización de la sismicidad y las propiedades de la fuente sísmica.

2.1. Marco geodinámico y tectónico regional

"Geodinámica y sismotectónica de los sismos del estado La Guaira del 24 de junio de 2026, Venezuela Norcentral: gran ruptura multifocal" (Audemard, 2026) aborda la caracterización sismotectónica del evento desde un marco geodinámico de escala regional que abarca la evolución tectónica del Caribe meridional desde el Cretácico hasta la actualidad. Esta perspectiva de largo plazo sitúa la recurrencia de los grandes terremotos en Venezuela norcentral en el contexto de la evolución tectónica del Caribe.

La síntesis de décadas de investigación sobre la tectónica del Caribe establece el contexto en el que ocurrió el evento (Audemard, 2026). La placa Caribe se desplaza hacia el este con respecto a Suramérica, pero el límite de placas no es una simple falla rumbo-deslizante, sino una amplia zona de deformación transpresional, es decir, que combina movimiento lateral y acortamiento, de más de 100 km de ancho. En esta zona, la deformación se particiona, es decir, se distribuye entre diferentes estructuras: la transcurrencia es acomodada por las fallas mayores, Boconó, San Sebastián y El Pilar, y sus fallas sintéticas, mientras que el acortamiento transverso es distribuido entre fallas inversas y plegamientos activos.

El proceso de indentación-expulsión, es decir, el empuje de un bloque contra otro que, al no poder penetrarlo, es expulsado lateralmente, ha modelado la tectónica de la región: la colisión del bloque del Chocó contra la fachada occidental suramericana indujo la expulsión de los bloques Norandino, Maracaibo y Bonaire hacia el NNE, generando la compleja estructuración en bloques que caracteriza el norte de Venezuela.

La caracterización de la secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 como una ruptura multifocal o secuencia multi-eventual se contrapone al término "doblete sísmico", que se considera vago e impreciso (Audemard, 2026). Los eventos ocurrieron

con 30-40 segundos de diferencia: el primero, de Mw 7,2, con epicentro en el estado Yaracuy, a profundidades de 20-27 km, asociado al segmento Boc-e de la falla de Boconó, y el segundo, de Mw 7,5, con epicentro en el mar, al norte del estado La Guaira, a profundidades someras de aproximadamente 10 km, asociado a la falla de Bruscas. La hipótesis es que el primer evento nucleó en la falla de Boconó y se propagó hacia el este. Esa propagación disparó, 39 segundos después, la liberación del grueso del momento sísmico en la falla de San Sebastián, en proximidad a Maiquetía-La Guaira. La propagación avanzó a velocidades de 3,0-3,1 km/s, lo que implica una separación de al menos 120 km entre ambos focos. Esa separación justifica la magnitud del segundo evento y la extensión de la ruptura.

El término "doblete sísmico" se critica por su vaguedad en la literatura sismológica actual. Se propone en su lugar el concepto de "sismo multifocal" o "secuencia multi-eventual". En este modelo, el sismo Mw 7,2 inicia la ruptura y se propaga hacia el este. La propagación encuentra una región del mismo plano de falla muy cargada de energía elástica próxima a la ruptura, que entonces libera el grueso del momento sísmico del sismo de Mw 7,5. Esta propuesta terminológica coexiste con el empleo del término "doblete sísmico" por otros autores, lo que refleja la diversidad de perspectivas en la comunidad científica.

La identificación de la falla de Bruscas como la falla causativa del segundo evento constituye uno de los hallazgos principales de la caracterización del evento (Audemard, 2026). La falla de Bruscas es una falla dextral de orientación aproximada este-oeste, asociada al sistema de fallas de San Sebastián. Había permanecido en un segundo plano en la cartografía neotectónica reciente a pesar de haber sido documentada en la literatura geológica de los años 50. Su rol protagónico en el evento de 2026 se demuestra a partir de su expresión superficial en los depósitos Plio-cuaternarios del Grupo Cabo Blanco, al oeste del sector Mare y en el extremo oriental del cerro Machado. La falla de Bruscas, de cinemática dextral y orientación aproximada E-O, yuxtapone rocas sedimentarias de litología, color y origen contrastantes. Esta característica la hace fácilmente identificable en campo. Su ruptura cosísmica fue discreta en superficie debido a la profundidad del evento, pero es coherente con la geometría de la falla de San Sebastián y con el régimen transpresional de la región. La identificación de esta falla como fuente del evento principal requiere su incorporación en los mapas de amenaza sísmica y en la normativa sismorresistente venezolana.

La identificación de la falla de Bruscas como falla causativa del segundo evento encuentra respaldo en la evidencia de ruptura superficial documentada en el Capítulo 8 del informe GEER (Varela et al., 2026, Cap. 8) y en la caracterización geológica del aeropuerto de Maiquetía (García, 2026 y Carrillo, 2026, Cap. 4). La documentación de los daños en el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar de Maiquetía y en el Puerto de La Guaira (Páez-Pumar, 2026) confirma la exposición crítica de la infraestructura vital ubicada en la proximidad de la falla de San Sebastián y de la falla de Bruscas.

El paralelismo entre los sismos de 2026 y los de 1812 se establece a partir de la geometría de ambos eventos (Audemard, 2026). El sismo del 26 de marzo de 1812, que destruyó Caracas, Barquisimeto y San Felipe, ha sido interpretado como un evento multifocal, con al menos dos focos: uno en el mar, al norte de la costa central, y otro en tierra, en el valle del Yaracuy. Esta geometría es esencialmente la misma que la del evento de 2026. Esa coincidencia sugiere una recurrencia secular de rupturas multifocales en la región.

La generación de tsunamis locales asociados a los sismos de 2026 se documenta con alturas de cresta a seno de ola entre 0,5 y 1,0 m en Gañango, en la zona de Puerto Cabello-Patanemo, y 0,70-1,25 m en la bahía de Choroní (Audemard, 2026). Estas observaciones, obtenidas a partir de videos aficionados y reportes de la compañía nacional de telefonía CONATEL, sugieren que los tsunamis no fueron producidos únicamente por el desplazamiento cosísmico de la falla de San Sebastián, sino que posiblemente involucraron deslizamientos submarinos que comprometieron los tendidos submarinos de fibra óptica. La hipótesis de que la falla de San Sebastián tenga una traza submarina al norte del cerro Machado que, combinada con la falla de Bruscas en tierra, conforme una estructura transpresiva en relevo, un pop-up o push-up, que explique la elevación de las unidades plio-pleistocenas del Grupo Cabo Blanco, requerirá estudios geofísicos marinos para su validación, y plantea la necesidad de evaluar la amenaza de tsunamis en la costa central venezolana.

La caracterización de la secuencia sísmica como una ruptura multifocal confirma que la región está sujeta a rupturas multifocales de magnitud elevada, con magnitudes de Mw 7,2 a 7,5, y con recurrencia secular, como lo demuestra la comparación con 1812. En segundo lugar, identifica la falla de Bruscas como una fuente sismogénica activa que debe ser incorporada en los mapas de amenaza y en la normativa sismorresistente. En tercer lugar, documenta la generación de tsunamis locales, lo que añade una componente de amenaza costera que no puede ser ignorada en la planificación de la reconstrucción de La Guaira y el litoral central. Por último, se destaca la importancia de la microzonificación sísmica como herramienta fundamental para la reconstrucción resiliente. La heterogeneidad de los daños observados en el litoral, atribuida a efectos de sitio, amplificación de ondas, directividad de la energía elástica y procesos de licuación, refuerza la necesidad de caracterizar el comportamiento dinámico de los suelos en las áreas afectadas para guiar la reconstrucción con criterios técnicos sólidos.

La caracterización del evento requiere distinguir con precisión la jerarquía de las estructuras tectónicas involucradas. El sistema de fallas de Boconó, con una extensión de aproximadamente 500 km, constituye la estructura principal del límite de placas en la región norcentral. El sistema de fallas de San Sebastián, con una extensión de aproximadamente 470 km, se desarrolla predominantemente costa afuera, aunque aflora en San Sebastián de Maiquetía. La falla de Bruscas, identificada como la estructura asociada al segundo evento, es una falla dextral de orientación este-oeste que había permanecido en un segundo plano en la cartografía neotectónica reciente. Su rol protagónico en el evento de 2026 se demuestra a partir de su expresión superficial en los

depósitos plio-cuaternarios del Grupo Cabo Blanco y su proximidad al aeropuerto de Maiquetía. La identificación de esta falla como fuente del evento principal requiere su incorporación en los mapas de amenaza sísmica y en la normativa sismorresistente venezolana

El Capítulo 3 del informe GEER, titulado "Tectónica regional" (Carrillo, 2026, Cap. 3), presenta una visión integrada del contexto tectónico y geodinámico de los sismos del 24 de junio de 2026. El capítulo se apoya en los estudios geodésicos y geológicos realizados en la región y en los datos del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) sobre los epicentros y mecanismos focales.

Los sismos del 24 de junio de 2026 se sitúan en el complejo límite de la placa Caribe-Sudamérica, donde la deformación es absorbida por el Bloque Norte Andino y distribuida a través de importantes sistemas de fallas transpresivas dextrales. La secuencia se inició a lo largo del Sistema de Fallas de Boconó con un sismo de magnitud 7.2 y posteriormente se propagó hacia el noreste hasta la Falla de San Sebastián, donde un sismo de mayor magnitud, 7.5, tuvo un gran impacto a lo largo de la costa centro-norte de Venezuela y el Área Metropolitana. Las evidencias geológicas, geodésicas y sismotectónicas indican que el sistema de fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar concentra gran parte del movimiento relativo entre la placa del Caribe y los bloques de Maracaibo, Bonaire, y la placa suramericana.

El capítulo describe con detalle la geometría y cinemática del sistema de fallas Boconó-San Sebastián, incluyendo la extensión de la falla de Boconó, aproximadamente 500 km desde la frontera colombo-venezolana hasta la región de Yaracuy, donde se fusiona con el sistema de San Sebastián, y la extensión de la falla de San Sebastián, aproximadamente 470 km desde Morón-Puerto Cabello hasta el golfo de Araya. La falla de San Sebastián es predominantemente costa afuera, pero aflora en San Sebastián de Maiquetía durante aproximadamente nueve kilómetros y tiene un relevo transpresivo con el segmento norte de la falla de desplazamiento lateral dextral observado al norte del Aeropuerto Internacional de Maiquetía, originalmente llamada Falla de Bruscas (Weisbord, 1957). Esta mención a la falla de Bruscas es consistente con la identificación que hace Audemard en su trabajo, y refuerza la importancia de esta estructura en la caracterización del evento.

El capítulo dedica una sección sustantiva a los terremotos históricos, documentando los eventos de 1812, 1900 y 1967, y su relación con los sistemas de fallas de Boconó y San Sebastián. El terremoto multievento de Caracas del 26 de marzo de 1812 se considera uno de los más destructivos en la historia de Venezuela, con graves daños en ciudades separadas por varios cientos de kilómetros, como Caracas, La Guaira, Barquisimeto, San Felipe y Mérida. El capítulo reporta que estimaciones previas sugieren magnitudes Ms de 7.0, 7.2 y 6.3 para tres epicentros o subeventos, incluidas las rupturas en Mérida, Barquisimeto-San Felipe y Caracas. La mayoría de los estudios coinciden en que el terremoto involucró al menos dos grandes rupturas de falla que afectaron las regiones central y occidental del norte de Venezuela. Esta caracterización es consistente con la hipótesis de Audemard sobre la naturaleza multifocal del evento de 1812 y con la comparación que establece con el evento de 2026.

El terremoto de Caracas de 1900 (magnitud ~7.6 a 7.7) es documentado por el autor como el mayor evento sísmico conocido en Venezuela antes de 2026. Señala que ha sido objeto de debate entre dos posibles estructuras costa afuera: algunos autores lo atribuyen a la falla de La Tortuga, mientras que otros lo reubican más cerca de la costa y lo atribuyen a la falla de San Sebastián. El capítulo reporta que el levantamiento sísmico marino de alta resolución concluyó a favor de la falla de San Sebastián como origen del sismo de 1900. Esta discusión muestra la complejidad de la identificación de las fuentes sísmicas en la región y la necesidad de estudios marinos de alta resolución para resolver las incertidumbres.

El terremoto de Caracas de 1967 es documentado por el autor como uno de los eventos sísmicos más importantes de la historia moderna de Venezuela. Con una magnitud de aproximadamente 6.6, se originó a lo largo del segmento en alta mar de la falla de San Sebastián. Los análisis sismológicos indican que la ruptura se propagó predominantemente de oeste a este a lo largo de una zona de falla con orientación este-oeste al norte de Caracas, con una profundidad de aproximadamente 14-25 km. El autor destaca que, a pesar de su magnitud moderada, el terremoto generó graves repercusiones en toda la región metropolitana de Caracas y la costa central venezolana, con intensidades máximas de grado IX (Violento) en algunos sectores, aproximadamente entre 225 y 300 muertos, más de 1.500 heridos y cuantiosas pérdidas económicas. Los daños estructurales se concentraron en varios distritos del este de Caracas, donde se derrumbaron cuatro torres residenciales de concreto armado. El capítulo señala que las condiciones geológicas locales fueron el factor primario que controló la distribución de los daños observados, y que el terremoto de 1967 constituye un caso de estudio clásico que ilustra la importancia de los efectos del sitio, la resonancia de cuenca y la interacción entre suelo y estructura en la ingeniería sísmica.

El capítulo dedica una sección al registro paleosísmico, documentando las investigaciones realizadas a lo largo del límite sur de la placa del Caribe, que ofrecen pruebas sólidas sobre la ocurrencia de terremotos recurrentes de gran magnitud en escalas temporales centenarias y milenarias. Las investigaciones paleosismológicas a lo largo de la falla de Boconó han documentado un largo historial de sismos con ruptura superficial que se extienden desde el Pleistoceno tardío hasta el presente. Los períodos de retorno estimados varían desde aproximadamente 200 a 300 años para algunos segmentos de falla, hasta 1000 a 2000 años para escenarios de ruptura más grandes. Varios sistemas de fallas importantes en la región centro-norte de Venezuela, como las fallas de Tacagua-El Ávila y La Victoria, también podrían afectar potencialmente las áreas de Caracas y La Guaira, y se ha registrado actividad post-sísmica significativa cerca de las expresiones superficiales de estas fallas.

"Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela: estructuras litosféricas en el norte de Sudamérica, comportamiento de las réplicas y la importancia de la

microzonificación sísmica para la reconstrucción de La Guaira" (Schmitz et al., 2026) integra la estructura litosférica de la región, el comportamiento estadístico de la secuencia de réplicas, el análisis de transferencia de esfuerzos de Coulomb y la caracterización del subsuelo de Caracas y La Guaira, y culmina con una propuesta de microzonificación sísmica del estado La Guaira orientada a la reconstrucción.

Los autores parten de una caracterización detallada de la estructura litosférica en el centro-norte de Venezuela, basada en los perfiles sísmicos de los proyectos BOLIVAR, GEODINOS, ECCAR y Mar y Tierra. Demuestran que la zona de los terremotos está en contacto entre una corteza oceánica engrosada del Caribe, unos 25 km de espesor, y una corteza continental de 35-40 km de espesor, sobre una litosfera adelgazada de unos 60 km. Esta configuración, interpretada en trabajos previos como resultado de la subducción de la placa del Atlántico en interacción con el borde septentrional del margen continental sudamericano desde el Paleoceno tardío, proporciona el contexto geodinámico para comprender la complejidad de la ruptura del 24 de junio de 2026. Los autores descartan la existencia de una zona de alta velocidad asociada a la falla de San Sebastián, planteada en estudios previos, y consideran más bien un aumento gradual del espesor de la corteza hacia la parte continental, consistente con modelos regionales previos.

El análisis estadístico de la secuencia de réplicas es uno de los aportes más significativos del trabajo. Los autores analizan 1774 réplicas registradas en 77 días, entre el 24 de junio y el 8 de septiembre de 2026, y documentan que la actividad de réplicas decayó rápidamente, con una atenuación superior al promedio tectónico global. La actividad se mantuvo sostenida durante los primeros 8 a 10 días, lo que podría relacionarse con la superposición de las dos rupturas. Los autores identifican además reactivaciones discretas que dispararon otras réplicas, un proceso que podría estar relacionado con reajustes locales del esfuerzo.

La distribución espacial de las réplicas revela una marcada heterogeneidad que refleja la compartimentación mecánica del sistema de fallas. Los autores identifican sectores donde la ruptura retuvo energía elástica y sectores donde el esfuerzo se liberó y el medio quedó en un estado relajado. Los dos grupos están separados por una brecha sísmica. El análisis de la distribución de magnitudes de las réplicas, es decir, el valor b, confirma esta interpretación: los valores bajos, 0,60-0,96, corresponden al segmento occidental del Mw 7,2 y a la zona costa afuera al este del Mw 7,5, mientras que los valores altos, 1,25-1,47, corresponden al segmento oriental. La brecha que separa ambos grupos se extiende entre 68,4° y 67,7° O. La celda más al sur, con un valor b de 1,48, confirma que la migración tardía de la sismicidad hacia el sur no representa la propagación de una ruptura principal, sino un reajuste secundario sobre los sistemas de fallas al sur (falla de La Victoria).

El análisis de transferencia de esfuerzos de Coulomb es otro de los aportes centrales del trabajo. Los autores calculan el cambio de esfuerzo de Coulomb (ΔCFS) producido por ambas rupturas, utilizando dos formulaciones independientes: superposición de dobles pares puntuales con la función de Green estática de Kelvin y dislocaciones rectangulares en semiespacio con superficie libre, siguiendo la formulación clásica de Okada. Los resultados demuestran que el hipocentro del Mw 7,5 quedó en una zona de carga estática del orden del umbral de disparo (+0,0133 MPa), y que la brecha de réplicas entre ambos eventos coincide con una sombra de esfuerzo de Coulomb (-0,31 MPa) proyectada por las dos rupturas adyacentes. Este resultado no depende del modelo de deslizamiento adoptado en la brecha y es consistente con la hipótesis de una ruptura discontinua y segmentada, y no de un frente continuo de 243 km como sugiere el modelo del USGS. Los autores señalan, sin embargo, que la correlación entre la distribución de réplicas y el campo de Coulomb no es estadísticamente significativa bajo la hipótesis nula de rotación rígida ($z = 1,3$, $p = 0,18$), y que la mayor parte del acuerdo aparente proviene de que las réplicas se alinean con la ruptura oriental, que coincide con la zona cargada.

La caracterización del subsuelo de Caracas y La Guaira es otro de los aportes significativos del trabajo. Para Caracas, los autores documentan los estudios de microzonificación sísmica realizados en 2005-2009, que permitieron caracterizar el subsuelo del valle, identificar los espesores de sedimentos, hasta 300 m en Los Palos Grandes, determinar los períodos fundamentales, 1-1,6 s en las zonas más profundas, calcular los valores de Vs30, 185-325 m/s en gran parte del valle, y definir los espectros de respuesta en superficie para cada microzona. Los daños del evento de 2026 se concentraron en las cuencas con depósitos profundos de sedimentos (más de 120 m), como Los Palos Grandes/Los Dos Caminos y San Bernardino, pero también hubo concentración de daños en zonas de menor espesor de sedimentos, como El Paraíso y Bello Campo, por lo que los autores recomiendan una actualización de la microzonificación sísmica de Caracas con un enfoque especial en estas zonas.

Para La Guaira, los autores documentan los estudios geofísicos realizados posteriormente a los deslaves de 1999, que permitieron caracterizar los conos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena. Los espesores de sedimentos alcanzan 480 m en Caraballeda, 290 m en Macuto y 200 m en La Guaira. Los períodos fundamentales del suelo varían entre 0,9 y 1,8 s, con valores máximos de hasta 2,7 s. Las velocidades Vs30 varían generalmente entre 300 y 650 m/s en los conos, con algunas zonas de sedimentos poco consolidados con valores por debajo de 300 m/s. El nivel freático se ubica entre 5 y 10 m de profundidad. Estos datos son consistentes con la heterogeneidad de los daños observados durante el evento de 2026, que se concentraron en los conos de deyección de Macuto y Caraballeda, y en Catia La Mar.

El trabajo culmina con una propuesta detallada para el estudio de microzonificación sísmica del estado La Guaira. La propuesta contempla análisis neotectónico con evaluación paleosismológica, densas mediciones geofísicas (ReMi, iMASW, ruido ambiental, gravimetría), perforaciones geotécnicas, análisis de respuesta dinámica 1D con efectos 2D y 3D, instrumentación acelerográfica y evaluación del peligro de tsunami. Los autores enfatizan la necesidad de considerar

las variaciones bruscas del subsuelo entre quebradas y los efectos de las cuencas abiertas al mar y de la topografía, así como el potencial de licuación y los deslizamientos gravitacionales. La información procesada y los mapas resultantes se integrarían en un Sistema de Información Geográfica abierto y en un repositorio que preserve la información y facilite su utilización futura. Con esta información se elaboraría una Ordenanza Municipal de Edificaciones Sismorresistentes complementaria a la norma COVENIN 1756 (2019) que sirva de base para la planificación urbana y estratégica de la reconstrucción del estado La Guaira.

2.2. Sismicidad histórica y caracterización de la fuente

"Mapa de máximas intensidades sísmicas estimadas para Venezuela en el período 1530-2026" (Liñayo et al., 2026) propone una metodología replicable para integrar, geoprocesar y validar mapas de isosistas dispersos en casi un siglo de producción científica nacional. La originalidad del trabajo radica en la integración espacial de mapas de isosistas de los terremotos más significativos de la historia venezolana en un producto cartográfico unificado, en la validación del mapa resultante mediante su superposición con una base de datos geoespacial de 116 puntos de intensidad sísmica, y en la comparación del mapa antes y después del evento del 24 de junio de 2026, que demuestra la estabilidad de la envolvente histórica y la recurrencia de los escenarios de intensidad máxima.

Venezuela posee un historial sísmico caracterizado por terremotos destructivos que, desde el siglo XVI, han impactado de manera recurrente sus principales centros poblados e infraestructuras estratégicas. Desde el terremoto de Cumaná de 1530 hasta el evento del 24 de junio de 2026, el país ha acumulado casi medio milenio de memoria sísmica. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de destacados investigadores que han recopilado, documentado y contrastada información sobre estos eventos, no existía hasta ahora un trabajo que propusiera la integración espacial y el geoprocesamiento unificado de todos esos aportes. La metodología desarrollada aborda esa integración.

La metodología desarrollada es rigurosa y replicable. Primero, se revisó una base de datos de 190 registros de grandes sismos históricos e instrumentales, de los cuales se seleccionaron nueve eventos que cumplían dos criterios fundamentales: corresponder a los de mayor intensidad estimada y cubrir en su conjunto la totalidad del territorio nacional. Los eventos seleccionados fueron los de 1610 (La Grita), 1674 (Mérida/Gibraltar), 1766 (oeste de Cumaná), 1812 (Caracas/Mérida), 1853 (Cumaná), 1875 (Cúcuta), 1894 (Selva de Onia), 1900 (alta mar al norte de La Guaira), 2025 (Mene Grande) y 2026 (noroeste de Catia La Mar). Para cada uno de ellos, se recopilaron los mapas de isosistas elaborados por diversos autores y se georreferenciaron, digitalizaron y superpusieron utilizando herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica). Los criterios de superposición fueron dos: fusionar todas las franjas de isosistas de similar valor y seleccionar la isosista de mayor valor como la que prevalecería sobre las de menor valor en las áreas de solapamiento.

El mapa resultante divide el territorio nacional en ocho sectores caracterizados por intensidades máximas estimadas que oscilan entre III y X grados de la Escala de Mercalli Modificada. Las áreas donde se han registrado los mayores efectos en superficie y daños asociados a terremotos destructivos históricos se ubican, de oeste a este, en los estados Mérida, Lara, Yaracuy, Carabobo, Distrito Capital, La Guaira y Sucre, con intensidades máximas que varían entre IX y X MMI (Escala de Mercalli Modificada). También destacan extensiones importantes de Táchira, Trujillo, Aragua, Miranda, norte de Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, donde se han registrado intensidades de VIII y VII MMI. Hacia la zona noroccidental del país y hacia el sur, las intensidades máximas se atenúan gradualmente, pasando por valores de VI, V, IV y III MMI. Esta distribución presenta una correspondencia espacial significativa con las zonas donde se concentra la actividad tectónica y con el patrón general representado por los mapas nacionales de amenaza sísmica elaborados por FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas), lo que se denomina una "congruencia lógica" entre ambos instrumentos.

Uno de los hallazgos principales es la comparación del mapa antes y después del evento del 24 de junio de 2026. Se contaba con una primera versión del mapa de intensidades máximas antes de esa fecha, y al incorporar el evento de 2026 se observó que los cambios son apenas perceptibles, salvo por el óvalo rojo que se extiende hacia el noreste de Yaracuy y parte del noroeste de Carabobo. Este hallazgo sugiere que las intensidades máximas registradas en 2026 ya habían sido estimadas en los mapas de eventos históricos, lo que confirma la recurrencia de los escenarios de intensidad máxima. En el caso de Caracas y La Guaira, las intensidades de IX MMI registradas en 2026 ya habían sido estimadas para los terremotos de 1812 y 1900, lo que confirma la recurrencia secular de los grandes terremotos en la región y refuerza la idea de que la aparente quiescencia sísmica posterior a 1812 no era más que el silencio previo a una nueva ruptura.

La validación del mapa final mediante su superposición con 116 puntos de intensidad sísmica de la base de datos del CIGIR arroja un 83,3% de coincidencia, lo que otorga un alto grado de confiabilidad al producto cartográfico. El 16,7% restante de no correspondencia probablemente obedece a condiciones de sitio u otros factores que escapan a los objetivos del trabajo. Este ejercicio de validación es poco común en trabajos de sismología.

Una distinción conceptual importante separa el Mapa de Zonificación Sísmica con fines de ingeniería (COVENIN 1756-2001, Comisión Venezolana de Normas Industriales) del Mapa de Intensidades Sísmicas Máximas. Mientras el primero se sustenta en datos instrumentales y orienta el diseño sismorresistente en la ingeniería, el segundo refleja los efectos que los sismos más destructivos han generado sobre la población, sus infraestructuras y el paisaje. Ambos instrumentos se complementan y ofrecen miradas distintas del comportamiento espacio-territorial de la sismicidad. El mapa de intensidades máximas no sustituye al mapa de amenaza

sísmica, pero lo complementa al ilustrar los efectos que los terremotos históricos han dejado en el territorio.

"Aspectos conceptuales de varios mecanismos focales y sus efectos en los sismos y obras de ingeniería" (Echezuría, 2026) aborda la física de la fuente sísmica para explicar los mecanismos que pueden generar pulsos de alta energía y aceleraciones extremas en superficie. Su aporte principal es la demostración de que dos sismos con la misma magnitud de momento pueden tener potenciales destructivos radicalmente distintos según el modo de ruptura: única, secuencial o supersónica.

Se distinguen con precisión dos regímenes de ruptura. En el primero, la velocidad de ruptura es menor que la velocidad de las ondas de corte (Vr < Vs). En este régimen, la ruptura no es un evento único y homogéneo, sino un proceso secuencial y multifásico controlado por la interacción de tres variables fundamentales: las asperezas (zonas con mayor concentración de esfuerzos), la resistencia friccional de la roca en los puntos de contacto y el incremento del área de ruptura. Cuando el frente de ruptura encuentra una barrera o una aspereza geométrica compleja, el desplazamiento local puede estancarse temporal o definitivamente, generando un desplazamiento escalonado. Este proceso se visualiza en un diagrama que muestra cómo el desplazamiento final acumulado de la falla es la suma matemática de los pulsos sucesivos. Como consecuencia, los acelerogramas o sismogramas pueden mostrar trenes o grupos de ondas de corte en el tiempo, lo cual indica que se rompieron zonas secuenciales en la misma falla. Este fenómeno se ilustra con el ejemplo del sismo Big Bear, cuyo acelerograma muestra claramente el arribo de dos trenes de ondas secundarias.

El segundo régimen es el super-shear (Vr > Vs), en el cual la velocidad de ruptura supera la velocidad de las ondas de corte. El proceso mediante el cual se alcanza este régimen se describe paso a paso. Inicialmente, la ruptura se propaga de manera convencional a aproximadamente el 82% de Vs. A medida que avanza, si el plano de la falla tiene poca rugosidad y la roca es muy rígida, se acumula una concentración extrema de tensiones en la punta de la grieta. Cuando la ruptura alcanza la velocidad de Rayleigh (aproximadamente 0,92 Vs), ocurre un fenómeno de transferencia: la alta tensión acumulada delante de la grieta principal crea una microfractura secundaria por delante, y la grieta principal salta y se fusiona con ella, superando la barrera física de la velocidad de corte. Una vez que se cruza esta barrera, la ruptura se establece rápidamente en una velocidad equivalente a $\sqrt{2}$ Vs, es decir, aproximadamente 1,41 veces la velocidad de la onda S, conocida como velocidad de Eshelby. A esta velocidad extrema, la falla se fractura más rápido de lo que la propia roca puede vibrar para transmitir la onda elástica.

El mecanismo de Burridge-Andrews permite a la ruptura saltar la "zona prohibida" entre la velocidad de Rayleigh y la velocidad de corte. En la mecánica de fractura dinámica existe un concepto llamado "flujo de energía en la punta de la grieta". Cuando la velocidad de ruptura se acerca a la velocidad de Rayleigh, la energía elástica que el medio intenta enviar a la punta de la fractura se convierte progresivamente en ondas elásticas irradiadas que se escapan del frente. Al alcanzar la velocidad Rayleigh, el flujo de energía hacia la punta de la fractura se reduce exactamente a cero. Si se intenta forzar teóricamente que la ruptura viaje a una velocidad ligeramente superior a la Rayleigh, el flujo de energía requerido se vuelve negativo, lo cual es físicamente imposible. Por esta razón, la velocidad Rayleigh actúa como un muro infranqueable para una aceleración continua convencional. Para superar este límite, la fractura no puede simplemente acelerar de forma gradual; se recurre al mecanismo de Burridge-Andrews, mediante el cual las tensiones elásticas saltan por delante de la zona de velocidad Rayleigh aprovechando la energía de las ondas de compresión (ondas P). Al aprovechar esa energía adicional, se genera una microfractura secundaria por delante que es alcanzada por la fractura principal, logrando así "transferirse" o saltar la zona prohibida de manera abrupta y alcanzar directamente una velocidad supersónica estable.

La consecuencia más importante de este régimen es la formación de un frente de Mach. Como el frente de ruptura avanza más rápido que las ondas que genera, las ondas de corte no pueden disiparse hacia adelante y quedan atrapadas en una envolvente geométrica cónica. Cada punto del plano de la falla que es alcanzado por la ruptura actúa como un emisor instantáneo de ondas esféricas, y como Vr > Vs, existe una línea geométrica única en el espacio donde los frentes de onda circulares emitidos en tiempos distintos llegan exactamente al mismo tiempo y con la misma fase. Para un observador situado sobre este frente de Mach, la diferencia de tiempo de llegada entre la energía liberada al inicio de la falla y la liberada al final se reduce a cero. Toda la energía transitoria de corte del sismo se comprime y se apila en un único instante de tiempo. El resultado instrumental es un pulso de velocidad del suelo con una aceleración pico extrema, con forma de choque agudo, una onda en forma de "N" o un pulso monopolar/bipolar de muy alta frecuencia. El ángulo de Mach se calcula mediante la ecuación $\sin(\beta) = Vs/Vr$. Este fenómeno se ilustra con el ejemplo del sismo de Izmit (1999), en Turquía, donde la ruptura viajó a 4,7 km/s, un 47% más rápido que las ondas S, generando un ángulo de Mach de 42,9° y un impacto simultáneo y violento en las ciudades situadas dentro del cono.

La vinculación de los desarrollos teóricos con el evento del 24 de junio de 2026 conduce a señalar que es probable que durante los sismos de esa fecha se haya presentado una situación de super-shear con superposición de ondas y pulso de alta energía, lo que pudo causar el colapso simultáneo de varias edificaciones en distintas zonas de La Guaira. Esta hipótesis, sustentada en la comunicación personal de Safina y en la observación de colapsos simultáneos, es consistente con la caracterización de la ruptura multifocal propuesta por Audemard y con los patrones de daño documentados por otros autores del Boletín. La convergencia de evidencias independientes respalda la hipótesis, aunque se requiere confirmación instrumental para establecerla con certeza.

La magnitud de momento no es un indicador suficiente del potencial destructivo de un sismo. Dos eventos con la misma Mw pueden generar aceleraciones locales radicalmente distintas si uno de ellos presenta una ruptura secuencial o

supersónica. En segundo lugar, se evidencia la necesidad de considerar los efectos de directividad y los pulsos de alta velocidad en el diseño de estructuras críticas, especialmente en zonas cercanas a fallas activas con potencial de super-shear. En tercer lugar, se subraya la importancia de la instrumentación sísmica densa y de alta frecuencia para capturar los pulsos de alta energía que caracterizan estos eventos. Se plantea la necesidad de revisar las normas sismorresistentes para incorporar escenarios de ruptura supersónica y pulsos de alta velocidad, que no están adecuadamente contemplados en la normativa actual.

El Capítulo 5 del informe GEER, titulado **"Sismicidad y características de la fuente sísmica" y elaborado por Shiying Nie (2026, Cap. 5)**, proporciona una caracterización detallada de la sismicidad y las características de la fuente sísmica de los terremotos del 24 de junio de 2026. El capítulo analiza la geometría de la ruptura, la cinemática de la fuente y sus implicaciones para el movimiento del suelo en La Guaira y Caracas. Los sismos del 24 de junio de 2026 se sitúan en el contexto del sistema de fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar, la principal estructura dextral del límite de placas Caribe-Sudamérica, y del sistema Oca-Ancón, un sistema dextral secundario en el noroeste de Venezuela. El primer sub-evento (Mw 7.2) se originó en la región de la fuente occidental, donde el mapa de fallas regionales muestra el sistema Boconó con rumbo noreste acercándose al sistema San Sebastián aproximadamente en dirección este-oeste. El ramal que albergó el sub-evento inicial y la geometría de la transferencia siguen siendo inciertos.

La cronología de eventos y la evolución de las soluciones de la fuente señalan que los catálogos actuales identifican dos sub-eventos principales separados por unos 30 segundos. Los datos que presenta el capítulo indican que los orígenes del USGS y GEOFON sitúan el primer sub-evento en la región de origen occidental y el segundo en la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar. Las soluciones del tensor de momento indican fallas predominantemente de desplazamiento lateral para ambos sub-eventos y, junto con sus tiempos de origen relativos, favorecen una progresión de la fuente de oeste a este, aunque los ramales de falla particulares y la trayectoria de transferencia siguen siendo inciertos. El catálogo actual del USGS caracteriza la secuencia como un evento de magnitud 7.2 en 10.4085°N, 68.5571°O y 22:04:34.363 UTC, seguido de un evento de magnitud 7.5 en 10.6221°N, 67.1935°O y 22:05:03.992 UTC. Los orígenes del catálogo actual están separados por aproximadamente 29.6 segundos. El capítulo detalla que las soluciones anteriores del USGS ubicaban los epicentros de los terremotos de magnitud 7.2 y 7.5 cerca uno del otro en la región de la fuente occidental; la solución actual (actualizada el 28 de julio de 2026) reubica el hipocentro del terremoto magnitud 7.5 hacia el este, cerca de Catia La Mar.

El capítulo compara las soluciones del tensor de momento del USGS y del GFZ, que sitúan el primer origen en la región fuente occidental y el hipocentro de magnitud 7.5 frente a la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar. En cada solución del USGS, un plano nodal pronunciado, con orientación aproximada de este a oeste, tiene valores de rumbo/buzamiento/deslizamiento de 270°/74°/−169° para el sub-evento de magnitud 7.2 y de 86°/74°/−176° para el sub-evento de magnitud 7.5. Los planos de GFZ correspondientes son 267°/88°/−167° y 85°/83°/175°, respectivamente. La única solución de GCMT para el sub-evento de magnitud 7.5 tiene un plano nodal este-oeste comparable de 87°/76°/−166°; su plano conjugado es de 354°/76°/−15°. Por lo tanto, las tres agencias indican fallas pronunciadas: un buzamiento de aproximadamente 74° en las soluciones del USGS, de 83 a 88° en las soluciones del GFZ y de 76° en la solución del GCMT. En esos planos este-oeste, los ángulos de deslizamiento cercanos a ±180° son consistentes con un movimiento predominantemente lateral derecho y solo pequeños componentes oblicuos. Concluye que las soluciones coinciden con la ruptura en el sistema de fallas dextrales del norte de Venezuela.

Se describe que la solución de falla finita del USGS representa un desplazamiento relacionado con la secuencia en dos segmentos de desplazamiento lateral de fuerte buzamiento, con rumbos de aproximadamente 81° y 86° y un buzamiento de 78°. Muestra la ubicación de los eventos en el oeste y el este, y utiliza ondas telesísmicas, InSAR y restricciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite). La escala de desplazamiento representada gráficamente alcanza aproximadamente 1.8 m. La velocidad de ruptura y la falla específica que conecta las regiones modeladas de desplazamiento lateral occidental y oriental siguen siendo inciertas. Los interferogramas y las inversiones de la fuente muestran un patrón general de deformación costera que abarca aproximadamente entre 180 y 210 km. El capítulo recoge los datos de la ESA según los cuales los productos Sentinel-1 indican un desplazamiento en la línea de visión del orden de decenas de centímetros en una amplia región, mientras que el procesamiento de la investigación y las inversiones estiman un desplazamiento localizado mayor cerca de la costa.

De acuerdo a lo reportado en este capítulo, el informe de EERI VERT (Earthquake Engineering Research Institute – Virtual Earthquake Reconnaissance Team) reprodujo una instantánea temprana del panel de control de FUNVISIS, recuperada el 27 de junio, en la que se describían 138 eventos entre el 24 y el 26 de junio: 133 con $M < 4$, tres con M 4–6 y dos con $M > 6$; 129 estaban a menos de 30 km de profundidad, cinco estaban a profundidades de 30–80 km y cuatro estaban a más de 80 km de profundidad. Se informaron concentraciones cerca de Naiguatá, La Guaira, San Felipe, Maracay y la región de Caracas-Valencia. La compilación preliminar del 17 de julio de 2026 muestra que la sismicidad posterior al sismo principal se concentra cerca de la región de fuente occidental y hacia el extremo oriental de la ruptura modelada, con una brecha de sismicidad relativa entre los dos grupos. La brecha central se superpone a parte de la región de alto desplazamiento que se muestra en el mismo modelo de fuente. El clúster oriental puede reflejar una redistribución de la tensión, la segmentación o ramificación de la falla, o un ajuste continuo cerca del punto final de ruptura.

La información disponible sobre las fuentes coincide en gran medida con una progresión de la fuente predominantemente

hacia el este, lo que sitúa a La Guaira y Caracas, en general, en la posible dirección de avance de la ruptura. El capítulo señala que el avance de la ruptura en sitios cercanos a fallas puede aumentar la aceleración espectral normal a la falla en períodos más largos que aproximadamente 0.6 s y acortar la duración de un movimiento fuerte. Para los eventos de 2026, la directividad sigue siendo una interpretación que se puede comprobar; se necesitan grabaciones locales y modelos específicos para cada evento para cuantificar su contribución. La evaluación de los daños informados en edificios de mediana y gran altura debe considerar la proximidad de la fuente, la posible directividad, la respuesta modelada de la cuenca de Caracas, dos episodios importantes de la fuente cuyos orígenes en el catálogo están separados por aproximadamente 30 a 33 segundos, el daño acumulativo y las vulnerabilidades informadas, incluidos los marcos de concreto armado no dúctiles y el relleno de mampostería sin refuerzo. Se modeló la respuesta de ondas SH de movimiento débil en la cuenca aluvial de Caracas. El modelo produjo una amplificación dependiente de la frecuencia, con efectos por debajo de 1 Hz en la cuenca más profunda y por encima de 1 Hz en las partes más delgadas. El intervalo de baja frecuencia se superpone al intervalo de período en el que se encuentran los efectos de directividad.

El capítulo identifica cuatro prioridades para el reconocimiento continuo: verificación en campo de posibles deformaciones cerca de la superficie cerca de La Guaira y deformaciones del terreno en Caraballeda; la documentación de fuentes de catálogo y los métodos de procesamiento para la compilación preliminar de sismicidad; datos locales de movimientos fuertes y condiciones del sitio para probar la directividad, la proximidad de la fuente y la amplificación de la cuenca; y comparación de los daños modelados y derivados de imágenes con medidas de intensidad locales y observaciones en campo, incluida la normalización por el parque de edificaciones expuestas y la evaluación de la cobertura de detección.

2.3. Geología local y efectos de sitio

"Enseñanzas geológicas aplicadas al terremoto de La Guaira 24/06/26" (García, 2026), formula el modelo geotectónico de la "Cuña de El Ávila". Este modelo conceptualiza el macizo montañoso como un bloque estructural rígido atascado entre la falla de El Ávila y la zona transformante de San Sebastián, que acumuló tensiones en sentido este-oeste hasta su destrabamiento durante el evento del 24 de junio de 2026. Este modelo, sustentado en evidencias de campo, análisis morfobatimétricos y mediciones InSAR de la misión NISAR (Interferometría de radar de apertura sintética), ofrece un marco interpretativo coherente para comprender la mecánica del doblete sísmico y la heterogeneidad espacial de los daños.

Las placas tectónicas del Caribe y Sudamérica están en contacto a lo largo de una amplia zona de deformación activa que recorre la costa norte de Venezuela. Las fallas de Boconó y San Sebastián no deben considerarse como líneas únicas, sino como bandas de deformación de varios kilómetros de ancho. En el caso del evento de 2026, el primer sismo (S1, Mw 7.2) se localizó en el sistema de fallas de Boconó, cerca de San Felipe, estado Yaracuy, a una profundidad de 20,3 km. El segundo sismo (S2, Mw 7.5) ocurrió 32 segundos después, en el mar Caribe, a unos 20 km al noroeste del Aeropuerto Internacional de Maiquetía, sobre la zona de falla de San Sebastián, a una profundidad de 10 km.

La hipótesis central es que el macizo de El Ávila actuó como una cuña estructural rígida que acumuló tensiones en sentido este-oeste. El primer sismo en Yaracuy actuó como detonante, liberando tensiones en la zona de la falla de San Sebastián y transfiriendo esfuerzos hacia el oriente. Tan solo 32 segundos después, se desencadenó el segundo evento, que representó la ruptura catastrófica y la liberación brusca de la tensión acumulada en la cuña de El Ávila.

Esta hipótesis se sustenta en tres tipos de evidencia. Primero, las mediciones InSAR de la misión NISAR revelan un desplazamiento cosísmico máximo de 60 cm hacia el oeste, distribuido en dos franjas: una franja litoral de 500 m de ancho que se extiende 40 km hacia Puerto Cabello, y un óvalo de deformación de 20 km de longitud por 5 km de ancho en el cerro El Ávila, al sureste de Maiquetía. Segundo, el análisis morfobatimétrico de la costa revela una marcada asimetría entre los flancos este y oeste del aeropuerto de Maiquetía: hacia el este, la plataforma continental presenta una pendiente suave y se alcanza la isóbata de 100 m a más de 10 km de la orilla; hacia el oeste, el fondo marino desciende bruscamente, registrándose profundidades superiores a los 500 m a muy corta distancia de la costa. Tercero, las observaciones de campo en el sistema Boconó, realizadas entre 1972 y 1992, demuestran que el ancho y el comportamiento mecánico de las fallas varían drásticamente según la litología involucrada, desde unos pocos centímetros en rocas plutónicas hasta más de 1.500 metros en secuencias metasedimentarias arcillosas.

El autor desarrolla un modelo cinemático de la secuencia de ondas del doblete que explica la complejidad del movimiento percibido. Las ondas P del sismo S1, generadas a una profundidad de 20,3 km, se desplazaron a una velocidad aproximada de 6.000 m/s y alcanzaron La Guaira en unos 23 segundos. Las ondas S del mismo sismo, con una velocidad superior a 4.000 m/s, arribaron en un lapso no superior a los 35 segundos. Al registrarse la ruptura del sismo S2 a los 32 segundos, la cercanía de su epicentro a La Guaira hizo que el tiempo de llegada de sus ondas P fuera casi inmediato, estimado en unos 5 segundos. De este modo, las ondas P del sismo S2 incidieron en menos de 37 segundos, coincidiendo de forma ortogonal con el arribo de las ondas S del sismo S1. Esta superposición de trenes de ondas sometió a las estructuras a un movimiento ondulatorio acoplado con un patrón de avance en forma de "ocho" o infinito, que resultó particularmente destructivo.

El análisis geológico de los sectores de Playa Grande y Caraballeda es otro de los aportes significativos del trabajo. El autor demuestra que la mayor destrucción en estas áreas se debió a la amplificación de ondas sísmicas en depósitos coluviales no consolidados y a la licuación de suelos en la franja aluvial ganada al mar tras el deslave de 1999. En el caso del aeropuerto de Maiquetía, el autor describe la terraza sobre la que se emplaza la pista, compuesta por depósitos coluviales de origen terrígeno con un espesor aproximado de 20 metros, y

explica el origen de las grietas longitudinales en zigzag como una respuesta combinada a la deformación de la terraza ante el paso del tren de ondas y a la liberación elástica de esfuerzos del macizo. En el caso de Caraballeda, el autor caracteriza el cono de deyección aluvial/coluvial asociado a la cuenca del río San Julián, con pendientes que varían desde un 20% en el pie de monte hasta suavizarse progresivamente al aproximarse al plano aluvial reciente. La severidad del daño en este sector respondió a la amplificación de ondas en depósitos no consolidados y a la licuación local de suelos en la franja ganada al mar.

El modelo de la Cuña de El Ávila sugiere que la zona de La Guaira y Caracas está sujeta a rupturas multifocales con recurrencia secular, como lo demuestra la comparación con 1812. Identifica la cuña de El Ávila como una estructura que debe ser monitoreada con técnicas de interferometría satelital de precisión milimétrica. Subraya la importancia de considerar los efectos de sitio, la amplificación de ondas y la licuación en la planificación de la reconstrucción y en la actualización de las normas sismorresistentes. Destaca, además, el valor del monitoreo InSAR como herramienta para la gestión integral de riesgos geotécnicos y la alerta temprana en relieve montañoso.

La caracterización de la deformación del terreno y de la falla de Bruscas realizada por García (2026) coincide con la evidencia remota documentada en los capítulos 7 y 8 del informe GEER (Varela, 2026, Cap. 7; Varela et al., 2026, Cap. 8) y con el inventario de manifestaciones de licuación documentado por el Capítulo 9 del informe GEER (Montalva et al., 2026, Cap. 9). La descripción geológica del aeropuerto de Maiquetía realizada por García (2026) coincide con la de Carrillo (2026, Cap. 4). El modelo cinemático de la secuencia de ondas del doblete desarrollado por García (2026) describe el mismo fenómeno que el análisis de la superposición de ondas y el régimen super-shear realizado por Echezuría (2026), desde la perspectiva de la secuencia temporal de los dos eventos y de la física de la fuente, respectivamente.

La convergencia entre el modelo de la Cuña de El Ávila y el análisis de la superposición de ondas y el régimen super-shear no es casual. Ambos describen el mismo fenómeno desde perspectivas complementarias: García (2026) caracteriza la secuencia temporal de los dos eventos y la respuesta del macizo rocoso, mientras que Echezuría (2026) analiza la física de la fuente y los mecanismos de ruptura que pudieron generar pulsos de alta energía. La integración de ambas perspectivas permite comprender por qué la severidad del evento no se explica únicamente por su magnitud, y por qué la caracterización de la fuente sísmica debe incorporar tanto la geometría de la ruptura como la secuencia temporal de los eventos.

El Capítulo 4 del informe GEER, titulado **"Contexto geológico" y elaborado por Eduardo Carrillo (2026, Cap. 4)**, proporciona una caracterización detallada del contexto geológico de las dos zonas más afectadas por los terremotos del 24 de junio de 2026: el estado La Guaira y el valle de Caracas. El capítulo analiza los patrones de daño heterogéneos y la necesidad de un conocimiento profundo de las condiciones geológicas y geotécnicas locales para la reconstrucción.

El autor comienza con una constatación fundamental: ambas zonas están situadas a lo largo de la Cordillera de la Costa, una zona tectónicamente activa cuyo basamento rocoso está compuesto por un complejo metamórfico cubierto por depósitos cuaternarios heterogéneos. En el estado La Guaira, los daños estructurales se concentraron en los asentamientos costeros desarrollados sobre abanicos aluviales y terrazas marinas del Holoceno. Estos depósitos, que en algunos lugares superan los 400 m de espesor, registran la influencia combinada del drenaje de montaña de alta pendiente, los procesos costeros, la sedimentación por flujos de detritos y la actividad tectónica asociada a estructuras geológicas regionales como el sistema de fallas de San Sebastián. La presencia de depósitos de abanicos aluviales poco o no consolidados, así como de sedimentos costeros y lagunares potencialmente propensos a la licuación, probablemente contribuyó a la variabilidad de la respuesta sísmica del terreno y a los patrones de daños localizados.

En el valle de Caracas, los impactos del terremoto se asociaron principalmente con áreas de depósitos cuaternarios de relleno de cuenca, gruesos y lateralmente variables, incluyendo sedimentos aluviales, coluviales, lacustres y de flujos de detritos. La distribución y el espesor de estos depósitos están fuertemente controlados por el levantamiento vinculado a fallas, la subsidencia, la obstrucción del drenaje y los repetidos procesos de transporte masivo vinculados al sistema estructural Tacagua-El Ávila. Esta complejidad estratigráfica produce contrastes significativos en la rigidez, la compresibilidad, las condiciones del agua subterránea y las características de propagación de las ondas sísmicas, que son factores críticos para la evaluación de los efectos sísmicos de sitio y las características geotécnicas. En general, el marco geológico de La Guaira y Caracas indica que los patrones de daños causados por los terremotos están estrechamente relacionados con la interacción entre la tectónica activa, la geomorfología escarpada, los depósitos cuaternarios gruesos no consolidados o poco consolidados y los procesos recurrentes de flujos de detritos. Las condiciones complejas y variables del suelo ponen de manifiesto la necesidad de comprender las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las zonas más afectadas durante los terremotos del 24 de junio de 2026. Este conocimiento se requiere para la planificación del uso del suelo, el diseño de cimientos y las estrategias de resiliencia de la infraestructura en los planes de desarrollo del estado de La Guaira y del Valle de Caracas.

El autor describe con detalle la geología del estado La Guaira, señalando que es una zona costera donde la Cordillera de la Costa llega hasta el Mar Caribe, con una pendiente generalmente pronunciada. Los estrechos valles que se forman a lo largo de la ladera orientada al norte permiten la expansión superficial de abanicos aluviales a lo largo de la costa, donde se asienta la mayor parte de la población del estado. Las principales llanuras formadas por la interacción de depósitos aluviales y sedimentos marinos son las zonas de Maiquetía-Playa Grande y La Guaira, y los pueblos de Caraballeda, Macuto y Tanaguarena, donde varios cientos de edificios resultaron dañados durante los terremotos del 24 de junio de 2026. Al sur de las principales zonas pobladas, la Cordillera de

la Costa alcanza su punto más elevado (2.765 metros sobre el nivel del mar) en el Pico Naiguatá, situado entre el Mar Caribe y la ciudad de Caracas. La Cordillera de la Costa está compuesta por rocas ígneas y metamórficas del Mesozoico y algunas del Paleozoico. En el estado La Guaira, rodeando la zona de máxima destrucción de los terremotos del 24 de junio de 2026, esta asociación de rocas está compuesta principalmente por el Esquisto de Tacagua, los Esquistos de Las Brisas y el Gneis de Peña de Mora, mientras que, en la ciudad de Caracas, los Esquistos de Las Mercedes y los Esquistos de Las Brisas constituyen el principal lecho rocoso debajo de los depósitos cuaternarios.

La zona de Maiquetía, Playa Grande y Catia La Mar se caracteriza por la presencia de colinas adyacentes a la línea de costa, con cuencas hidrográficas estrechas y una serie de terrazas marinas preservadas a diferentes alturas. Estas terrazas reflejan episodios complejos y recurrentes de erosión costera, inundaciones, flujos de detritos, elevaciones del terreno y fluctuaciones del nivel del mar durante el Cuaternario. El drenaje está controlado por quebradas relativamente cortas y de gran pendiente que transportan rápidamente sedimentos desde las partes altas de la cordillera hasta la costa durante las lluvias estacionales. La secuencia sedimentaria se agrupa en el Grupo Cabo Blanco, que comprende varias unidades sedimentarias que abarcan desde el Mioceno medio hasta el Cuaternario. La unidad más antigua, la Formación Las Pailas, consta de conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas interpretadas como depósitos continentales a marinos marginales. Posteriormente, estos estratos sufrieron deformación y erosión antes de la deposición de la Formación de Playa Grande que yace suprayacente a la Formación Las Pailas. La Formación de Playa Grande contiene areniscas marinas fosilíferas, limolitas, conglomerados, fragmentos de conchas y depósitos arrecifales indicativos de ambientes marinos poco profundos. Seguidamente, la Formación Mare yace discordante sobre la Formación Playa Grande y está compuesta principalmente por areniscas marinas ricas en fósiles, depositadas en ambientes costeros. Posteriormente, sobre la Formación Mare, se encuentran los depósitos consolidados más recientes pertenecientes a la Formación Abisinia, la cual está conformada por sedimentos cuaternarios de terrazas aluviales compuestos de arcilla, limo, arena, grava y, localmente, depósitos carbonáticos que contienen corales. Los depósitos aluviales, de playa y de terraza holocenos representan la etapa más reciente de acumulación de sedimentos en la zona (Weisbord, 1957).

La geología estructural del área de Maiquetía-Playa Grande está dominada por un monoclinal costero y una zona compleja de fallas activas con orientación predominantemente este-oeste que afectaron la sucesión sedimentaria durante y después de la deposición del Grupo Cabo Blanco. Weisbord (1957) cartografió la falla de Bruscas como la principal zona de falla terrestre observada en el área. La falla de Bruscas se interpreta como una falla inversa de alto ángulo con orientación este-oeste, asociada a un plegamiento complejo, que se extiende desde Catia La Mar hasta Mare. Adicionalmente, la "falla de la Costa", descrita en el capítulo como la falla de San Sebastián, representa una falla transcurrente dextral con un componente normal a lo largo del margen sur de la cobertura sedimentaria, y es inferida por el contacto entre la sección sedimentaria y el lecho rocoso metamórfico. Según Weisbord (1957), la Formación Playa Grande presenta una fuerte deformación, mostrando una serie de anticlinales, con estratificaciones medidas de hasta 56 grados con inclinación hacia el sur. Esta deformación indica múltiples episodios de acortamiento y levantamiento tectónico durante los últimos cinco millones de años, posiblemente inducidos por la actividad de la falla de San Sebastián.

La mayor parte de los daños observados en el estado de La Guaira luego de los sucesos del 24 de junio de 2026 se produjeron en edificios ubicados sobre abanicos aluviales del Holoceno. Los abanicos aluviales holocenos constituyen la principal cubierta sedimentaria en las estribaciones de la Cordillera de La Costa, incluyendo la mayor parte de las zonas afectadas por terremotos, como Caraballeda, Macuto, Tanaguarena y partes de La Guaira, Maiquetía y Catia La Mar. Los depósitos de flujos de detritos alcanzan su máximo espesor inferido en la zona de Caraballeda, superando los 400 metros en el sector noreste. Se han estimado espesores mayores de 250 metros en Macuto, mientras que los depósitos en La Guaira alcanzan localmente hasta 250 metros. El abanico aluvial de Caraballeda es un sistema deposicional complejo influenciado por la tectónica local, y formado por la interacción de procesos aluviales y marinos. Su arquitectura sedimentaria registra una transición desde depósitos de abanicos aluviales proximales hasta ambientes costeros y lagunares distales, mientras que su morfología refleja los efectos combinados de la acumulación de sedimentos y la tectónica activa. En este contexto, los paleoambientes costeros observados en el noreste de Caraballeda pudieran incluir extensas capas de arena propensas a la licuación inducida durante el sismo del 24 de junio de 2026. Todos los abanicos aluviales del estado de La Guaira se superponen al basamento rocoso metamórfico de la Unidad de Esquisto de Tacagua, compuesta predominantemente de cuarzo y muscovita, con presencia menor pero constante de grafito, así como cantidades variables de calcita y/o albita.

El autor destaca que los centros poblados de La Guaira no se han visto afectados únicamente por terremotos. Todas estas zonas costeras se vieron afectadas previamente por un importante evento regional de flujo de detritos (deslave) que ocurrió en diciembre de 1999, donde se depositaron aproximadamente 2 millones de metros cúbicos durante el evento de inundación en Caraballeda. Los registros históricos indican que eventos hidrológicos similares que provocaron graves inundaciones, deslizamientos y flujos de detritos ocurrieron en esta región en febrero de 1798, agosto de 1912, enero de 1914, noviembre de 1938, mayo de 1944, noviembre de 1944, agosto de 1948 y febrero de 1951. La alta frecuencia de flujos de detritos e inundaciones, junto con el período de retorno de aproximadamente 60 años para los terremotos destructivos, hace que esta región sea particularmente vulnerable a la acumulación de riesgos geológicos.

El autor describe la geología del valle de Caracas, señalando que fue la segunda región con mayor afectación luego de los terremotos del 24 de junio de 2026. Varias edificaciones

sufrieron graves daños y nueve colapsaron. La mayor parte de los daños se observaron en urbanizaciones del norte de Caracas. Las condiciones del subsuelo del Valle de Caracas son producto de una compleja historia cuaternaria caracterizada por la deformación tectónica, fases repetidas de acumulación de sedimentos y procesos episódicos de transporte masivo de sedimentos que se superponen al complejo basamento rocoso metamórfico de la Cordillera de La Costa. La cartografía geológica muestra que el valle de Caracas comprende conjuntos heterogéneos de depósitos aluviales, coluviales, lacustres y de flujo de detritos de edad y espesor variables, cuya distribución está fuertemente controlada por el levantamiento y la subsidencia relacionados con fallas activas asociadas al sistema de fallas de Tacagua-El Ávila. Esta actividad tectónica reciente ha generado cambios laterales significativos en el espesor de los sedimentos, la arquitectura estratigráfica y los entornos de depositación en toda la cuenca, lo que ha dado lugar a una variabilidad sustancial en las propiedades geotécnicas del suelo. La secuencia sedimentaria cuaternaria registra múltiples episodios de inestabilidad de las laderas y alteración del drenaje que produjeron extensos depósitos de flujos de detritos y anegamientos localizados en las cuencas. Estos procesos llevaron a la acumulación de gruesas secuencias sedimentarias lacustres y de grano fino en las zonas bajas del valle, mientras que los depósitos aluviales y torrenciales más gruesos predominan en los sectores proximales del piedemonte. Áreas como Los Palos Grandes, Altamira y San Bernardino están compuestas por depósitos de flujos de detritos con un espesor máximo de aproximadamente 350 m en el área de Los Palos Grandes. Se prevé que la heterogeneidad estratigráfica resultante genere contrastes pronunciados en las propiedades geotécnicas, incluyendo rigidez, compresibilidad, las características de propagación de ondas de corte y la susceptibilidad a asentamientos diferenciales. En consecuencia, la distribución espacial de estos depósitos representa un factor clave para evaluar los efectos sísmicos del sitio y el desempeño geotécnico del subsuelo en toda el área metropolitana. La actividad geomorfológica del Holoceno modificó aún más el fondo del valle mediante flujos de detritos a gran escala, la agradación de la llanura de inundación, la desviación de cauces y la redistribución de sedimentos. La evidencia de obstrucciones repetidas del drenaje y la acumulación rápida de sedimentos demuestra que los procesos geomórficos catastróficos han jugado un papel importante en la configuración del paisaje moderno y continúan representando un componente importante de la evaluación de los riesgos geológicos regionales. Desde una perspectiva de ingeniería, el marco cuaternario del Valle de Caracas resalta la necesidad de tener en cuenta las transiciones litológicas abruptas, los paleocanales enterrados, las condiciones variables del agua subterránea y las acumulaciones localizadas de sedimentos lacustres blandos al evaluar el diseño de las fundaciones de las edificaciones, la respuesta sísmica del terreno y la resiliencia de la infraestructura.

"Aportes de la microzonificación sísmica para la mitigación del riesgo sísmico en Venezuela — avances y desafíos (compendio del TIA)" (Schmitz, 2026) presenta un compendio del estado del arte de la microzonificación sísmica en Venezuela, sus avances, desafíos y recomendaciones. Proporciona el marco metodológico y normativo para comprender por qué los efectos del evento de 2026 fueron tan heterogéneos en la costa central y por qué la reconstrucción de La Guaira requiere completar y aplicar los estudios de microzonificación sísmica.

El autor parte de una constatación fundamental: un alto porcentaje de la población venezolana se encuentra asentada en zonas de alta amenaza sísmica. La geodinámica de Venezuela está caracterizada por la interacción de las placas del Caribe y Sudamérica, lo que ha dado lugar a la formación de cordilleras y cuencas asociadas. La placa del Caribe se mueve con una velocidad de aproximadamente 19,6 ± 2 mm/año hacia el oeste con respecto a la placa Sudamericana, generando una compleja distribución de fallas activas y sismicidad. Los mapas de amenaza sísmica que forman la base de las normas sísmicas venezolanas (COVENIN 1756) expresan la amenaza en roca, pero no incorporan los efectos de sitio que pueden amplificar el movimiento del terreno en las cuencas sedimentarias donde se asientan la mayoría de las ciudades venezolanas. La microzonificación sísmica es, precisamente, la herramienta que permite identificar y caracterizar estos efectos de sitio.

Schmitz describe con rigor la metodología de los estudios de microzonificación sísmica. Estos estudios integran la evaluación de la amenaza sísmica en roca, la caracterización geológica, geomorfológica, geotécnica y geofísica del subsuelo, el cálculo de la respuesta sísmica en superficie mediante análisis lineal equivalente y la delimitación de microzonas de comportamiento similar. La información del subsuelo se obtiene mediante perforaciones geotécnicas, mediciones geofísicas (refracción sísmica, análisis de ondas superficiales, ruido ambiental, gravimetría) y modelado 3D. Con estos datos se determinan el espesor de sedimentos, las velocidades de ondas de corte (Vs30) y los períodos fundamentales de vibración del suelo. Estos parámetros permiten calcular los espectros de respuesta en superficie para cada microzona, que complementan los espectros de la norma COVENIN 1756 (2019) en el ámbito local. Además, se evalúan los efectos inducidos, como el potencial de licuación, el peligro de deslizamientos y la afectación por ruptura de falla en superficie.

El autor documenta los avances de los estudios de microzonificación sísmica en Venezuela, que se remontan a los estudios pioneros posteriores al terremoto de Caracas de 1967 y que se han desarrollado en varias ciudades del país. En el Área Metropolitana de Caracas, los estudios se iniciaron formalmente en 2005-2009 y han permitido caracterizar el subsuelo del valle, identificar los espesores de sedimentos (hasta 300 m en Los Palos Grandes), determinar los períodos fundamentales (1-1,6 s en las zonas más profundas) y definir microzonas de comportamiento similar. Los resultados han sido implementados en ordenanzas municipales en los municipios Libertador, El Hatillo y Sucre, aunque aún están pendientes en Chacao y Baruta. En Barquisimeto-Cabudare, los estudios se completaron y las ordenanzas fueron publicadas en 2018. En Carora, El Tocuyo, Quíbor, Duaca, Cumaná, Carúpano, Cariaco, Valencia, Maracay, Barcelona, Mérida, San

Juan, Lagunillas, Valera, Trujillo, Boconó, San Cristóbal, San Antonio del Táchira, Ureña, Michelena, Lobatera, Rubio, La Guaira, Ciudad Caribia y Guarenas-Guatire, los estudios se encuentran en diferentes estados de avance, desde la caracterización preliminar del subsuelo hasta la definición de microzonas preliminares.

El caso de La Guaira es particularmente relevante para este Boletín. Schmitz documenta que el estado La Guaira posee una elevada amenaza sísmica (A0 = 0,3 g para La Guaira y A0 = 0,27 g para Ciudad Caribia), con la falla de San Sebastián marcando la línea de costa. Los estudios geofísicos realizados posteriormente a los deslaves de 1999 han permitido caracterizar los conos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, determinando espesores de sedimentos de hasta 450 m en Caraballeda, 180 m en La Guaira y 290 m en Macuto. Los períodos fundamentales del suelo varían entre 0,9 y 1,8 s, con valores máximos de hasta 2,7 s. Las velocidades Vs30 varían generalmente entre 300 y 650 m/s en los conos, con algunas zonas de aluviones poco consolidados con valores por debajo de 300 m/s. Estos datos son consistentes con la heterogeneidad de los daños observados durante el evento de 2026 y refuerzan la necesidad de completar la microzonificación de La Guaira con el cálculo de la respuesta sísmica en superficie y la elaboración de las respectivas ordenanzas municipales.

El autor aborda con detalle el proceso de implementación de los resultados en ordenanzas municipales y planes de gestión del riesgo. Señala que la implementación es un proceso complejo que requiere tanto del consenso técnico (con los funcionarios de las direcciones municipales de Ingeniería, Urbanismo y Protección Civil) como de la formulación y aprobación de las respectivas ordenanzas municipales con las comisiones de los concejos municipales. Este proceso puede tardar más tiempo que el propio estudio técnico. En Caracas, por ejemplo, las conversaciones con las direcciones municipales se iniciaron en 2010, pero la primera ordenanza no se publicó hasta 2018, y aún están pendientes las de Chacao y Baruta. En Barquisimeto, las ordenanzas fueron publicadas en 2018. El autor destaca que, cuando se trata de una actualización del estudio, la implementación legal puede ser más rápida, como lo demuestra el caso de Bogotá.

Schmitz también aborda el impacto de la microzonificación en la mitigación del riesgo sísmico. Los resultados de los estudios permiten identificar las zonas de mayor amplificación y los efectos inducidos, lo que a su vez permite establecer restricciones de uso del suelo, exigir requisitos de construcción más rigurosos en las microzonas de mayor peligro y guiar la ubicación de infraestructura vital (hospitales, escuelas) en las zonas de mejor comportamiento sísmico. La información de vulnerabilidad recabada y las propuestas de reforzamiento sísmico deberían utilizarse en el marco de los planes municipales de gestión del riesgo, cuya creación está indicada en la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009) y que están contemplados en las ordenanzas municipales de edificaciones sismorresistentes. El autor señala que, en varias ciudades, se han evaluado más de 1000 edificaciones en Caracas, se ha realizado una auditoría de vulnerabilidad en Barquisimeto y se ha evaluado la vulnerabilidad de más de 200.000 edificaciones en Valencia. Sin embargo, con pocas excepciones, no se han gestionado los reforzamientos.

La caracterización física del evento y la evaluación de los efectos de sitio configuran el marco en el que se analiza la respuesta estructural de las edificaciones, que se aborda en la sección siguiente.

3. RESPUESTA ESTRUCTURAL, RESPUESTA DE SITIO, ASPECTOS GEOTÉCNICOS Y NORMATIVA SISMORRESISTENTE

Los trabajos reunidos en esta sección abordan la respuesta estructural de las edificaciones, los efectos de sitio y las implicaciones para la normativa sismorresistente. El evento del 24 de junio de 2026 puso a prueba el desempeño del parque construido venezolano y evidenció tanto las fortalezas como las debilidades de las prácticas de diseño, construcción y control de calidad. Los daños observados en Caracas y La Guaira revelan mecanismos de falla recurrentes, es decir, patrones de comportamiento estructural que se repiten en distintas edificaciones. Estos mecanismos incluyen el piso blando, la columna corta, las fallas de confinamiento y solape, la corrosión, la mampostería sin confinamiento, las cubiertas pesadas con conexiones deficientes, los daños en tabiquería, las fallas de tanques y las alteraciones de sistemas ligeros. Muchos de estos mecanismos ya habían sido identificados durante el terremoto de Caracas de 1967 y en eventos posteriores. Su persistencia después de más de cinco décadas de desarrollo normativo plantea la necesidad de revisar los criterios de diseño y evaluación.

La respuesta estructural de las edificaciones durante el evento del 24 de junio de 2026 se articula en torno a tres dimensiones complementarias: el análisis de los daños y los mecanismos de falla observados, el control de calidad y la evolución normativa, y el comportamiento del suelo y la interacción suelo-estructura. Estas dimensiones organizan el análisis de la respuesta estructural.

3.1. Daños, mecanismos de falla y evaluación del desempeño estructural

3.1.1. Mecanismos de daño y vulnerabilidades estructurales

"El sismo del 24 de junio de 2026 en Venezuela: análisis preliminar de daños en edificaciones en Caracas y La Guaira, y lecciones para la gestión del riesgo" (Lafuente, 2026). Articula un análisis multicausal de la severidad del desastre en torno a seis dimensiones interrelacionadas: la demanda sísmica asociada al doblete y a efectos de campo cercano; la amplificación por condiciones locales de sitio; la licuación en franjas costeras; las vulnerabilidades estructurales acumuladas; la incidencia de elementos no estructurales y modificaciones posteriores a la construcción; y las debilidades de la gestión institucional del riesgo. Esta aproximación refleja la complejidad del evento. La autora describe los mecanismos de daño observados en edificaciones de diversa tipología y antigüedad, desde el Hospital Rísquez en San Bernardino (con

fallas por columna corta) hasta la Escuela de Música de Macuto (estructura patrimonial de mampostería) y el Urbanismo Hugo Chávez Frías (con edificaciones de Light Steel Framing). El análisis del Urbanismo Hugo Chávez Frías plantea hipótesis preliminares que deben separarse: limitaciones de diseño, deficiencias de control de calidad, aplicación normativa, mantenimiento y alteraciones realizadas por los habitantes.

La autora analiza la mampostería de relleno como un componente que, aunque suele clasificarse como no estructural, puede modificar la rigidez y distribución de fuerzas del marco, originar columnas cortas, introducir irregularidades y fallar fuera del plano. Las inspecciones realizadas permiten señalar desprendimientos extensos, mecanismos de compresión diagonal y expulsión de paneles de mampostería en múltiples estructuras afectadas por el sismo. Además de su interacción con la estructura, el colapso de la tabiquería puede causar víctimas, bloquear rutas de evacuación y hacer inhabitable un edificio que no haya sufrido colapso global. Este contraste es importante para la ingeniería de desempeño: evitar el colapso global es indispensable, pero no suficiente cuando componentes secundarios pueden provocar lesiones, pérdidas económicas y largos periodos de desocupación.

El trabajo también expone las debilidades institucionales en la gestión del riesgo. Es especialmente relevante la ausencia de registros sísmicos locales. Aunque hacia el año 2000 Venezuela llegó a operar entre 250 y 300 estaciones sismológicas, constituyendo una de las redes más avanzadas de América Latina, el deterioro progresivo iniciado en 2009 condujo a un colapso casi total de la infraestructura. La ausencia de estos registros no es un problema técnico aislado: es la manifestación de una crisis institucional profunda, que se extiende a muchas esferas de la gestión pública y que limita la capacidad del Estado para gestionar el riesgo y garantizar la seguridad de los habitantes del país.

La autora propone una explicación multicausal de la severidad del desastre y subraya la importancia de evitar dos simplificaciones: atribuir todos los daños a que el movimiento excedió la norma, o atribuir el desastre exclusivamente a mala construcción. Las investigaciones posteriores deberán separar y analizar ambos componentes con datos documentados y sustentados adecuadamente. La agenda propuesta para la investigación forense y la rehabilitación es uno de los aportes principales del trabajo. Incluye la preservación de evidencia antes de demoler, la reconstrucción de la demanda sísmica a partir de evidencia instrumental regional y no instrumental, la construcción de una base de datos de daños, el desarrollo de un modelo integral de exposición para La Guaira, la realización de estudios de materiales y detallado, la investigación geotécnica, la auditoría de edificaciones posteriores a normas modernas, la incorporación de componentes no estructurales y la vinculación entre reconstrucción, rehabilitación y ordenamiento territorial.

"Incompatibilidad entre pórticos y paredes de relleno de mampostería: lecciones recurrentes ratificadas tras el terremoto de La Guaira de 2026" (Urich, 2026). Este trabajo aborda uno de los mecanismos de daño más recurrentes y letales del evento del 24 de junio de 2026: la incompatibilidad entre los pórticos de concreto armado y las paredes de relleno de mampostería. El trabajo se concentra en un problema específico: la falsa premisa de que las paredes de mampostería son "componentes no estructurales" que pueden ignorarse en el análisis y diseño sismorresistente.

El autor parte de una constatación histórica: hasta finales del siglo XIX, los muros de mampostería no solo cumplían la función de dividir o aislar los espacios en los edificios, sino que también constituían la estructura portante. La transición hacia prescindir de estos muros como parte de la estructura inició con arquitectos como Auguste Perret. En 1903, Perret construyó un edificio de 8 pisos en París con una estructura de pórticos de concreto reforzado en la que se diferencian claramente los elementos portantes de los cerramientos. Más adelante, Le Corbusier influyó decisivamente en esa transición a través de sus postulados en el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna, iniciado en 1928. Su propuesta promovía prescindir de los muros tradicionales de carga y generar espacios libres con columnas esbeltas. Esta tendencia marcó un cambio de paradigma que persiste hasta nuestros días. A partir de esas primeras experiencias, se ha popularizado cada vez más la construcción de estructuras aporticadas de concreto reforzado, sin dejar de lado a las paredes de mampostería para las divisiones internas y el cerramiento de fachadas, pero ahora, estas últimas sólo son consideradas como "componentes no estructurales". Es práctica común desestimar la rigidez y resistencia de estas paredes y considerar que sólo aportan peso y masa a los modelos empleados en el análisis y diseño estructural.

El autor advierte que la ocurrencia de sismos en las últimas décadas ha demostrado reiteradamente que las paredes de relleno contribuyen significativamente a la respuesta estructural, contribución que puede ser tanto positiva como negativa. La literatura especializada señala que las paredes de relleno pueden inducir consecuencias tanto positivas como nocivas: hasta finales de la década de los 90 s, aunque se reconocían efectos adversos relacionados con la presencia de paredes de relleno de mampostería, se hacía también énfasis en sus beneficios, ya que éstas son capaces de tomar gran parte de las acciones sísmicas. Estudios más recientes insisten en que, para edificios de varios pisos, los tabiques de relleno podrían considerarse beneficiosos sólo para sismos de baja intensidad, mientras la mampostería no se agriete, porque a partir de ese momento su desempeño suele resultar muy errático y dominado por mecanismos frágiles, incluso para estructuras recientes detalladas según códigos modernos que prevén sistemas dúctiles. Las paredes modifican las propiedades estructurales. Alteran el período natural y el amortiguamiento. También modifican la transferencia de tensiones a través de los miembros estructurales: el dominio de la flexión en los marcos pasa a los puntales de compresión a través de las paredes. Esta situación aumenta las tensiones axiales en las columnas, vigas y fundaciones. Incluso si se separan las paredes de las columnas y del techo, igualmente se rigidizan las vigas donde ellas se apoyan, forzando la migración de rotaciones hacia las columnas y descartando el concepto de columna fuerte-viga débil. Las paredes son responsables de las irregularidades tipificadas más dañinas: el entrepiso blando, el entrepiso débil,

el efecto de columna corta y la torsión. Varios autores han advertido que estos problemas pueden ocurrir en lugares que no son evidentes en la configuración original del edificio, sino que inesperadamente aparecen cuando las paredes comienzan a agrietarse.

El autor subraya que la mayoría de las normas internacionales prescriben dos opciones: aislar las paredes para que no interfieran con la estructura, o incluirlas en el análisis y diseño como parte del sistema estructural. Muchos códigos establecen penalizaciones al considerarlas como una irregularidad estructural, aumentando las cargas de diseño o afectando la capacidad de las estructuras por factores que pueden variar entre 1,15 y 4,7 veces. Otro aspecto que todavía es vigente en los códigos es el cortante basal mínimo, criterio que fue incorporado desde finales de los 70s al reconocer que las paredes modifican las propiedades dinámicas, tal como se evidenció en mediciones de períodos en edificios de esa época (COVENIN 1756, 2001). A pesar de que existen previsiones en las normas o códigos, en muchos países sigue siendo común considerar las paredes sólo como componentes "no estructurales". Desafortunadamente, no hay suficiente conciencia acerca de la excesiva flexibilidad de los sistemas estructurales de tipo "pórticos" y se comete el error de desatender o subestimar la influencia de los tabiques en el desempeño sismorresistente. Muchas veces este error se potencia por la carencia de criterios claros en la literatura sobre cómo modelar y diseñar teniendo en cuenta las paredes, o cómo aislarlas adecuadamente de los miembros estructurales.

El autor describe con fotografías y descripciones detalladas los patrones de daño observados en Caracas y La Guaira durante el evento de 2026. Estos patrones incluyen el entrepiso blando o débil, donde la reducción de rigidez y resistencia lateral debido a la discontinuidad de paredes propicia la formación de un mecanismo clásico que concentra demandas de deformación inelástica en las columnas del nivel inferior, el efecto de columna corta o columna cautiva, generado por la restricción parcial de la mampostería perimetral, que reduce la altura libre e incrementa proporcionalmente el cortante demandado, induciendo una falla frágil diagonal; el efecto de viga corta o viga cautiva, que se manifiesta en los elementos horizontales cuando son confinados parcialmente por paredes con un tramo libre para dar paso a ventanas u otras discontinuidades, las fallas en nodos y extremos de columnas y vigas por concentración de tensiones hacia las aristas de la pared, y el mecanismo de piso blando o débil generado al romperse las paredes en niveles intermedios, mientras los pisos superiores permanecen prácticamente intactos, comportándose como un cuerpo rígido debido a la alta rigidez que confieren las paredes antes de agrietarse.

El autor también analiza los patrones de daño en paredes inducidos por la excesiva flexibilidad de la estructura. La excesiva flexibilidad de las estructuras aporticadas puede generar diversidad de daños en las paredes, que van desde fisuras leves hasta la destrucción total de las mismas. Se documentan daños incipientes en acabados de la tabiquería interior de un centro de salud, que aunque estructuralmente leves, resultan inaceptables por comprometer la operatividad de instalaciones esenciales durante una emergencia, la destrucción y colapso parcial de paredes de fachada, que se produce a niveles de deriva relativamente bajos, frecuentemente antes de que los miembros principales del pórtico de concreto reforzado desarrollen deformaciones inelásticas significativas; y escenarios críticos de colapso de tabiquería interna, de pasillos y de escaleras, cuya destrucción generalizada representa un peligro letal para los ocupantes por desprendimiento de escombros, además del bloqueo de las rutas de evacuación y salidas de emergencia.

El trabajo de Urich examina la incompatibilidad de deformaciones entre la mampostería y los pórticos. El autor analiza los niveles de desempeño para paredes de relleno de mampostería, con valores de deriva asociados y la degradación de su rigidez. Los tabiques de mampostería suelen mostrar sus primeras fisuras a distorsiones tan bajas como $\delta/H = 0{,}001$. La distorsión, o deriva, es el desplazamiento lateral relativo entre pisos. A partir de ese punto comienza una degradación progresiva de rigidez y resistencia, dominada por mecanismos frágiles. Esa degradación puede conducir a daños severos o colapsos parciales a distorsiones del orden de $\delta/H = 0{,}005$, y a la destrucción total a partir de distorsiones del orden de $\delta/H = 0{,}010$. Estos rangos de deformación o desempeño de las paredes de mampostería son incompatibles con los esperados en los pórticos de concreto reforzado, los cuales típicamente alcanzan su resistencia cedente en las vigas a derivas del orden de $\delta/H = 0{,}003$, para luego desarrollar deformaciones inelásticas que pueden alcanzar valores del orden de $\delta/H = 0{,}020$ en caso de estructuras dúctiles diseñadas después de los años 80. Entonces, cuando las paredes y los miembros estructurales del pórtico están en contacto, en el momento en el cual el aporte de rigidez y resistencia de las paredes es máximo, el aporte de los pórticos todavía es bajo, mientras que, si se logra desarrollar plenamente la capacidad prevista en los pórticos, las paredes no podrán acompañarlos y quedarán totalmente destruidas.

El autor refuta, en primer término, la idea de que "muchas estructuras tuvieron un buen desempeño, ya que no se observaron daños ni siquiera en las paredes de mampostería". Señala que, en el nivel de deriva relativa donde la mampostería no presenta daños (hasta un 0,001-0,002), la contribución de los miembros del pórtico es mínima. Hasta ese punto, las columnas y vigas solo han ayudado en la distribución de las tensiones a lo largo de la mampostería, la cual absorbe casi la totalidad de las cargas laterales. Por lo tanto, si hubo un sismo fuerte y las paredes no se agrietaron, no es porque la estructura funcionó bien, sino porque la mampostería participó como estructura mientras los pórticos no ejercieron su función prevista.

Refuta también la idea de que "muchos edificios experimentaron únicamente daños no estructurales, sólo es necesario reparar las paredes, preferiblemente separarlas o usar materiales más flexibles". Señala que, en muchos edificios con daños leves a moderados en la tabiquería de mampostería, especialmente en edificaciones de baja altura y estructuras antiguas previas a las normativas modernas, los elementos resistentes principales fueron precisamente las paredes de

mampostería. Muchas paredes degradadas por el sismo solo recibirán reparaciones cosméticas, mientras que otras serán reemplazadas con materiales distintos, y ambas acciones cambiarán el desempeño de los edificios ante futuros terremotos.

A continuación, refuta la idea de que "el edificio tuvo el buen desempeño esperado, porque no colapsó. Los daños estructurales cumplen con el criterio de seguridad de vida previsto en las normas y son aceptables". Señala que la seguridad del edificio suele estar dominada por los elementos de mampostería en lugar de los miembros estructurales. Aunque la estructura principal alcance la capacidad de prevención de colapso, el nivel de desempeño de "seguridad de vida" en los elementos de mampostería se excederá mucho antes de que la estructura disipe una cantidad razonable de energía por deformación inelástica. La destrucción de los elementos de mampostería puede presentarse ante sacudidas entre 4 y 6 veces menores que las utilizadas como cargas de diseño.

Por último, refuta la idea de que "un factor de irregularidad que incremente las acciones en 1,3 veces cubre el incremento en la demanda, resultando en una estructura segura". Señala que, si el desempeño está dominado por los elementos de mampostería, afectando la resistencia, la rigidez, el período y la ductilidad, la capacidad global en el nivel de seguridad de vida o prevención de colapso podría ser 10, 15 o 20 veces menor que la seleccionada para el diseño. El autor presenta un ejemplo numérico: en una estructura diseñada con un factor de reducción R igual a 6, una columna cautiva a media altura que afecte al 30% de las columnas en un nivel hará que estas fallen por corte, de forma frágil y sin ductilidad. Esto ocurrirá cuando el resto de las columnas aún no hayan comenzado a trabajar debido a su rigidez relativa. En consecuencia, la capacidad global a corte se reducirá a $Vf = (30\% / R) \times Vn = 0{,}05\ Vn$. La capacidad global final será, así, 20 veces menor que la capacidad nominal esperada por los diseñadores.

El autor formula recomendaciones concretas y accionables. Concluye que, frente a la comprobada incompatibilidad de deformaciones entre los pórticos dúctiles y las paredes de mampostería, resulta imperativo insistir en el aislamiento efectivo de las paredes respecto a los pórticos o, en su defecto, considerar estructuras mucho más rígidas que puedan dominar el desempeño y minimizar la contribución de las paredes en la rigidez del edificio. Para controlar el daño en la mampostería sin fines estructurales, recomienda reducir las derivas admisibles de diseño a un máximo de $\delta/H = 0{,}006$. El autor enfatiza que ignorar estas evidencias históricas perpetúa vulnerabilidades estructurales que han resultado letales en sismos anteriores. Se trata de un cambio de paradigma y un trabajo interdisciplinario que demanda la atención de ingenieros y arquitectos responsables de proyectar y construir en zonas sísmicas. El autor concluye con una reflexión que sintetiza el sentido de su propuesta: "Debemos entender que, o cambiamos la forma de diseñar y construir nuestros edificios, o sismo tras sismo seguiremos tropezando con la misma piedra, o quizá sea mejor decir: con la misma pared no estructural".

"Respuesta estructural y control de calidad en obra. Lecciones, debilidades y cambios necesarios tras el terremoto de La Guaira 24 de junio 2026" (Bonilla, 2026). Este trabajo aborda la calidad de la ejecución y el control de calidad en obra. El trabajo se concentra en la verificación empírica de las deficiencias constructivas observadas en edificaciones colapsadas y no colapsadas del estado La Guaira. Su aporte principal es la documentación sistemática de errores de ejecución (ligaduras mal dispuestas, ganchos a 90° en lugar de 135°, ausencia de confinamiento en nodos, exceso de barras en empalmes, tuberías atravesando vigas y columnas, corrosión generalizada) y la formulación de propuestas concretas de ajuste normativo y de gobernanza para mejorar la calidad de las construcciones.

El autor parte de una constatación fundamental: la calidad en ejecución de la estructura termina siendo la responsable del comportamiento real de toda edificación correctamente diseñada. Distintas disciplinas profesionales juegan un papel esencial en el comportamiento de las edificaciones ante eventos naturales: la arquitectura inicia determinando las formas geométricas en planta y elevación, la geotecnia evalúa la morfología y geología del suelo, el ingeniero estructural desarrolla el diseño soportado en normas y reglamentos, la construcción requiere permisos otorgados por las ingenierías municipales, y el constructor, con su respectiva supervisión y control de calidad, tiene la responsabilidad de llevar a cabo el proyecto siguiendo los parámetros establecidos. Sin embargo, al final toda estructura responderá a como fue construida, consecuentemente el rol de los ingenieros residentes e inspectores, técnicos y laboratorios de materiales resulta esencial para asegurar que la edificación sea ejecutada tal como fue proyectada y se comporte conforme fue previsto en el diseño estructural.

El autor reconstruye con precisión la evolución de las normas venezolanas. Las normas que consideraron el tema de sismicidad inician con el Ministerio de Obras Públicas (MOP) hacia 1933, con actualizaciones en 1947 y 1955, todas bajo Teoría Clásica. El terremoto de Caracas de 1967 motivó una actualización que fue reeditada en 1968 manteniendo la Teoría Clásica, a pesar de que se contaba con una versión en teoría de rotura que no fue aceptada por la comisión respectiva. Las resistencias de concretos se proponían desde 180 kgf/cm², el acero en estribos y ligaduras con diámetro mínimo 6 mm y en columnas con separación constante en toda su altura. A mediados de 1985 las normas MOP pasan a ser sustituidas por la norma COVENIN 1753-85, basada en especificaciones ACI (American Concrete Institute) 318-83, que se soporta en Teoría de Rotura y mantiene que los empalmes por solape del acero longitudinal de columnas arranquen a nivel de piso.

Para el caso de columnas, las ligaduras se aceptan desde 6 mm para barras principales de 1,58 mm (1/2") y a partir de este diámetro ligaduras (y estribos también) de 9,50 mm (3/8"). La norma refiere ganchos a 135° en ligaduras de columnas; además que cada barra esquinera cuente con un cierre de ligadura a 135°, pero presenta detalles generales en dibujos de ligaduras con ganchos a 90°. También contempla armadura transversal de confinamiento en junta viga-columna. La

resistencia del concreto para diseño (f'c) la refiere mayor de 200 kgf/cm² y acero con cedencia 4200 kgf/cm². En lo relativo a sismorresistencia, las normas MOP de construcción incluían aspectos básicos de zonificación; hacia 1980 se incorpora la Norma COVENIN 1756 (80-82) Edificaciones Antisísmicas; revisada en 1997 tras el terremoto de Cariaco, renovada en 2001 y actualizada en 2019 con mejoras sustanciales incluyendo la microzonificación.

El autor precisa que entre un 55% y un 65% de las edificaciones de La Guaira fueron desarrolladas bajo normas MOP, mientras un 40% bajo directrices COVENIN. Los urbanismos más afectados cuentan con construcciones que datan desde los 70, con picos entre los 70 y 80, para caer entre 1990 y 2010 cuando inicia un crecimiento importante. En lo relativo a resistencias, hasta la década de los 80 correspondía a un valor medio referencial 200 kgf/cm², y a partir de esta década se pasó a 250 kgf/cm²; mientras las barras de acero desde los 60 hasta mediados de los 70 tenían cedencia 2100 kgf/cm², para pasar a 4200 kgf/cm². En lo relativo a empalmes por solape de barras longitudinales en columnas, desde los años 60 estaban previstas arranque a nivel de piso con ligaduras a distancias iguales en toda la altura (40-60 cm) y cierres con ganchos a 90°. A partir de 1980 estos empalmes por solape a nivel piso son reubicados en los 2/3 centrales de la altura de columna; con la finalidad de facilitar las inflexiones precisamente en el centro, dado que los momentos sísmicos consecuencia de fuerzas cortantes en los extremos tienden a ser nulos en este sector.

El autor describe con detalle los patrones de colapso observados. En gran parte de los edificios colapsados resalta el impacto instantáneo a corte en columnas del primer nivel (planta baja) que no tuvieron capacidad y rigidez necesaria; consecuentemente la estructura pasó de manera inmediata a un colapso por volcamiento. En otros casos las columnas no contaron con la capacidad de resistir la carga a compresión de una aceleración vertical que escapó a cualquier previsión; si varias columnas cercanas y/o en la misma línea vertical presentaron similar respuesta y el concreto fracturado en ellas no quedaba confinado, el colapso vertical resultaba incontrolable. Muchos sectores cuentan con afectación de edificios aporticados de planta rectangular y elevación relativamente sencilla colapsados en serie; de manera general tenían altura entre 24 y 45 m; mientras los de mayor número de niveles o no tan cercanos a las zonas de desastre presentaron daños graves en columnas, vigas, losas y mampostería, hasta los niveles 8 y 12. También se presentaron casos de edificios colapsados que contaron con niveles de sótanos, que pueden ser agrupados en colapso total (súper estructura) por volcamiento, colapso total vertical y colapso parcial de súper estructura nivel único. Las variables generales que podían justificar las formas de colapsos descritas pasaron a ser un muro que circunda en al menos tres caras del perímetro y/o en las dimensiones en secciones de columnas de sótanos superiores a las de planta baja.

El autor reporta las resistencias de concreto y acero evaluadas mediante extracción de núcleos y estudio esclerométrico en un alto porcentaje de edificaciones colapsadas e incluso no colapsadas. En los años 60 se cuenta con un promedio en resistencia de 200 kgf/cm², pasando entre los 70 y 90 a 230 kgf/cm² (mínimo 220 kgf/cm²). Para el período 1990-2000 se ha obtenido una media de 260 kgf/cm² (mínimo 240 kgf/cm²), pasando a 265 kgf/cm² entre 2000 y 2010, y para el lapso 2010-2020 270 kgf/cm² con valor mínimo 240 kgf/cm². Con relación al acero, a la fecha solo han sido ensayadas 4 barras: una de un edificio colapsado de los años 60 con cedencia 2100 kgf/cm², y tres piezas correspondientes al período 2010-2020 con cedencia 4200 kgf/cm². En edificios colapsados de períodos 1990-2020 es posible observar en sus aceros la rótula del fabricante correspondiente a aceros S60 (fy 4200 kgf/cm²). Consecuentemente, en lo referente a las características de los materiales (concreto y acero), hasta el momento actual se determina que están dentro de valores normativos, aunque la información del diseño estructural se hace necesaria pero no resulta sencillo conseguirla.

El autor analiza con detalle los errores en ejecución. Uno de los aspectos que han destacado en las evaluaciones realizadas sobre las estructuras afectadas en el Estado La Guaira es que las edificaciones construidas antes de los años 80 de manera general cumplen con las prescripciones normativas verificables; en especial separaciones de ligaduras en columnas, cierre o gancho a 90°, empalmes por solape que arranca a cota del piso. Consecuentemente, en lo relativo a construcción, pareciera que en esos años el control de ejecución era correcto. Además, la evaluación de calidad en ejecución en lo referente a distintos detalles constructivos a partir de 1980, evaluado en 44 edificios con daños graves o edificios colapsados, permite adelantar ideas en lo que se refiere a construcción y supervisión de la misma por el exceso de debilidades observadas. Resalta en la data que al menos 30 edificios construidos después de 1980 no cumplieron con los cierres a 135° en las ligaduras de columnas: el 93% no los cumplió, y la presencia de ligaduras en nodo fue incumplida en un 93% de estas construcciones, con el detalle de que aquellas que cumplieron con ligaduras en el nodo cuentan con errores de mala ejecución. Adicionalmente, en el 95% de los casos estudiados cuenta con exceso de barras en los empalmes de vigas y/o columnas, condición que afectó la adherencia entre el concreto disminuyendo la sección de estos elementos estructurales colapsados.

El autor identifica un error recurrente y particularmente peligroso: la práctica de empalmar todas las barras de una columna en el mismo entrepiso, especialmente en los 2/3 centrales de la altura. Esta práctica, aunque permitida por algunas interpretaciones normativas, genera zonas con potencial de falla debido al exceso de barras no confinadas por el concreto. El autor también reporta la presencia de tuberías que atraviesan vigas y/o columnas, condición que por lo general no viene contemplada en el diseño estructural. Y advierte sobre la corrosión generalizada: todos los edificios evaluados presentan corrosión en sus aceros. En los cercanos a la costa como consecuencia de contaminación ambiental por cloruros; pero todos los edificios con sótanos (colapsados o no) evaluados tienen alto nivel de afectación por carbonatación y consecuente corrosión en el acero con delaminación del recubrimiento al menos en estos espacios. Los estudios

realizados en estructuras lejanas a la zona costera demostraron también afectación por carbonatación con delaminación y corrosión del acero. En términos generales, esta situación se ha detectado en el 100% de los edificios visitados en La Guaira (y Caracas) independiente de su condición post sismo.

Las propuestas de ajuste normativo y de gobernanza formuladas por el autor se abordan en el apartado 3.2.

3.1.2. Evaluación masiva de daños y desempeño por tipología estructural

"El terremoto de La Guaira" (López et al., 2026), elaborado por el Comité Técnico Asesor del Terremoto bajo la coordinación de la Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras, aporta el cuerpo de evidencia empírica más extenso del evento. La inspección de 63.070 edificaciones a nivel nacional, con 18% de Etiqueta Roja y 24% de Etiqueta Amarilla, y 1.529 colapsos totales o parciales) de los cuales 1.159 corresponden al estado La Guaira y 143 al área metropolitana de Caracas), constituye la base cuantitativa que permite dimensionar la magnitud del desastre y verificar los patrones de daño identificados en los apartados anteriores. El trabajo aborda, en este apartado, la evaluación de las edificaciones colapsadas y dañadas, los patrones de falla, la distribución de colapsos por altura y antigüedad y el desempeño diferenciado por tipología estructural. La respuesta institucional, el protocolo de evaluación de habitabilidad y la propuesta de Norma Sismorresistente de Emergencia se abordan en los apartados 5.2 y 3.2, respectivamente.

La distribución de los colapsos por altura y antigüedad revela datos de gran relevancia para la discusión sobre vulnerabilidad. Del total de colapsos, 53% corresponden a edificaciones de 1 a 3 pisos, 31% a edificaciones de 4 a 7 pisos y 16% a edificaciones de 8 pisos o más. Por antigüedad, 52% fueron construidas entre 1968 y 2001, 32% entre 2002 y 2020, 13% antes de 1967 y 3% después de 2021. Esta distribución demuestra que el colapso no fue un fenómeno exclusivo de edificaciones antiguas: un tercio de los colapsos correspondió a edificaciones construidas después de 2001, es decir, bajo normas sismorresistentes modernas. Este hallazgo es consistente con lo documentado en los apartados precedentes sobre el desempeño deficiente de las edificaciones modernas en La Guaira.

Los modos de falla documentados sistemáticamente por el Comité Técnico Asesor incluyen fallas por compresión de columnas (con pérdida de recubrimiento, trituración del núcleo y pandeo de barras longitudinales), rótulas plásticas en columnas y vigas, fallas por corte (incluyendo el efecto de columna corta), fallas en nodos viga-columna por agrietamiento diagonal y trituración del concreto, y anclajes deficientes del refuerzo longitudinal. La documentación fotográfica de estos mecanismos en numerosas edificaciones del litoral confirma que los patrones de daño identificados por Lafuente (2026), Urich (2026), Fargier-Gabaldón et al. (2026, Cap. 11) y Bonilla (2026) no fueron casos aislados, sino manifestaciones de vulnerabilidades sistémicas en el diseño y la construcción del parque edificado. Los mismos mecanismos se manifestaron en el patrimonio religioso, aunque agravados por la fragilidad de las técnicas constructivas antiguas y por la ausencia de diafragma rígido en techos, lo que permitió que los muros vibraran de forma independiente y que los elementos esbeltos amplificaran las aceleraciones (Balza y Montecalvo, 2026). La incompatibilidad entre refuerzos históricos de distinta rigidez y la degradación acumulada por falta de mantenimiento completan un cuadro de vulnerabilidad que requiere estrategias de intervención específicas para el patrimonio construido.

El desempeño diferenciado por tipología estructural es uno de los aportes principales de este trabajo. En los nueve complejos OPPPE (Oficina Presidencial de Planes y Proyectos Especiales) de La Guaira, con 43 torres de 12 pisos, se registraron 16 colapsos totales y 3 parciales. La totalidad de las torres colapsadas correspondió a la tipología de Torre Doble (16 colapsos de 32 torres, 50%), mientras que la tipología Torre Simple no registró colapsos (0 de 11 torres, 0%). La dirección de colapso coincidió con la dirección débil de las columnas en 14 de las 16 torres colapsadas. Este comportamiento diferenciado, cuya causa es objeto de investigación en curso, evidencia que la configuración estructural (y no solo la calidad de los materiales o la intensidad del movimiento) condicionó el desempeño de las edificaciones. El sistema SUMMA del Urbanismo Hugo Chávez comprende 193 edificaciones construidas con perfiles de acero ligero galvanizado. El colapso de al menos un nivel alcanzó 66,7% en la Etapa 1, 13,2% en la Etapa 2 y 36,2% en la Etapa 3. Las diferencias entre etapas, asociadas a la presencia o ausencia de diagonales de arriostramiento en la planta baja y a las condiciones del terreno, refuerzan la importancia del detallado estructural y de las condiciones de sitio en el desempeño sísmico.

La evaluación abarcó 660 viviendas populares en el sector Playa Verde, en la parroquia Urimare del estado La Guaira. De ese total, el 39,55% recibieron Etiqueta Roja o colapso, y el 74,24% presentaron algún grado de afectación. Este hallazgo es particularmente relevante porque las viviendas populares, construidas sin cumplimiento estricto de las normas técnicas ni supervisión de ingenieros colegiados, constituyen el tipo de edificación más vulnerable y más extendido en los asentamientos espontáneos del país. La evaluación de edificaciones esenciales y patrimoniales completa el panorama: de 2.205 planteles educativos inspeccionados, 171 recibieron Etiqueta Roja y 467 Etiqueta Amarilla, con 9 colapsos totales o parciales; de 433 edificaciones médico-asistenciales inspeccionadas en 6 estados, 3 colapsaron, 34 recibieron Etiqueta Roja y 71 Etiqueta Amarilla. El colapso del Centro de Atención Psicofamiliar El Niño y el Mar en Catia La Mar causó la muerte de 16 niños y 3 profesionales de la salud. Se identificaron 55 edificaciones patrimoniales e históricas con daños, incluyendo la Catedral de Caracas, la Escuela de Música Pablo Castellanos, la Iglesia de San José de Ñarauli y el Palacio de las Academias.

La evaluación de las edificaciones de pórticos de concreto reforzado confirma que su flexibilidad excesiva condujo a numerosos colapsos y al derrumbe de paredes de mampostería de relleno, que causaron muchas víctimas. Las edificaciones con muros de concreto reforzado presentaron, en general, un

mejor desempeño, aunque con diferencias asociadas a la configuración y continuidad de los muros, el detallado sísmico, la calidad constructiva, las condiciones geotécnicas y el deterioro previo. Los sistemas con muros continuos y bien distribuidos en ambas direcciones mostraron un comportamiento más favorable. Esta evidencia empírica respalda las recomendaciones formuladas en los apartados precedentes sobre la necesidad de promover estructuras más rígidas y de controlar el daño en la mampostería.

La evaluación de las edificaciones colapsadas y dañadas ratifica la recurrencia de las deficiencias documentadas por Bonilla (2026). En las torres OPPPE se identificaron estribos con ganchos doblados a 90° en lugar de los 135° exigidos por la norma, ausencia de confinamiento en nodos viga-columna y anclajes deficientes del refuerzo longitudinal de vigas, con barras ubicadas por fuera del núcleo de la columna. En las edificaciones del sistema SUMMA se observó corrosión de pernos de anclaje y distancias al borde insuficientes, así como pandeo de diagonales y doblez de montantes en la planta baja.

El análisis de daños a escala nacional aporta evidencia adicional sobre la influencia de las condiciones de sitio. Los mayores daños se concentraron en zonas con mayores espesores de sedimentos, como Caraballeda y Altamira-Los Palos Grandes-San Bernardino, pero también en las mesetas de Playa Grande y Mamo, donde los efectos topográficos pudieron amplificar el movimiento. Se observó menos daño en las construcciones ubicadas en la base de las montañas, lo que confirma que las zonas rocosas experimentaron amplitudes menores. En Camurí Chico se documentaron manifestaciones de licuación en estratos confinados, con hundimiento del terreno y agrietamientos compatibles con desplazamiento lateral, lo que refuerza la necesidad de incorporar la caracterización geotécnica detallada en la microzonificación de La Guaira. El trabajo documenta además que en las mesetas de Playa Grande y Mamo se registraron daños devastadores que podrían estar asociados a efectos de amplificación topográfica, con desniveles superiores a 50 metros y fuertes pendientes en las direcciones norte-sur y este-oeste.

El Capítulo 11 del informe GEER, titulado **"Impactos en edificios de ingeniería" (Fargier-Gabaldón et al., 2026, Cap. 11)**, documenta los impactos del evento del 24 de junio de 2026 en el parque construido venezolano. El capítulo documenta la evidencia de campo de los daños en edificios, instalaciones esenciales, muros e infraestructura, y analiza un caso de estudio: la interacción estructura-suelo-estructura en el complejo residencial de Playa Grande, Catia La Mar.

Los autores describen los daños a edificios residenciales y comerciales en varias comunidades costeras de La Guaira, particularmente en Playa Escondida, Caraballeda, Los Corales y Catia La Mar. Entre los casos más significativos de daños severos o colapso se encuentran Residencias Caribemar en Playa Escondida, Residencias San Jorge en Playa Escondida, Residencias Sol Marino Garden en Catia La Mar, Residencias Don Peppino en Los Corales, Residencias Costa Azul en Los Corales, Centro Comercial IP5 en Caraballeda y Edificio Auromar en Caraballeda. Se documentaron daños adicionales a edificios en el Banco de Venezuela, el Edificio Pleamar, el Edificio Remanso II, cerca de 031 Bistro y el Edificio Costa Bella. Los daños observados incluyen deterioros y derrumbes de elementos de muros y fachadas, así como daños más importantes en partes de estructuras individuales. En el emplazamiento de Residencias Don Peppino, el personal de campo observó diferencias notables en el comportamiento de las estructuras adyacentes, lo que podría justificar una investigación más exhaustiva de las condiciones locales del terreno y las características de los cimientos en la zona.

Los autores también reportan los daños en instalaciones esenciales, como los hospitales. El Hospital Dr. Francisco A. Rísquez en Caracas y el Hospital San José en Maiquetía presentaron daños. En el caso del Hospital San José, los daños se concentraban en las columnas del tercer piso del edificio de cuatro plantas, que tenía aproximadamente 70 años de antigüedad. Otro caso que involucró instalaciones esenciales fue el de la Terminal Catia La Mar, donde entre las observaciones realizadas por los inspectores se encontraban defectos en elementos de pared y desplazamiento de losas de estacionamiento. Según se informa, las vigas y columnas de hormigón no presentaban daños visibles, mientras que los fallos observados podrían estar relacionados con deficiencias en la configuración estructural, las conexiones, el comportamiento del diafragma y los detalles constructivos.

Los autores analizan cómo las condiciones del terreno y la deformación permanente del suelo influyeron en el rendimiento de la infraestructura. Se documentó evidencia de falla del terreno en Pueblo Ferriar, Marina de Caraballeda, Residencia Torre Marina, Urbanismo Hugo Chávez, Avenida José María España, Boulevard Niza y Mamo. En Pueblo Ferriar, el equipo de campo identificó una característica a unos 4 km del epicentro del terremoto de magnitud 7.5 que se extendía unos 380 m en una dirección generalmente paralela al río cercano y que estaba ubicada a pocos metros del cauce del río. También se observaron daños en muros en varios lugares de Caracas, así como fallas de taludes localizadas a lo largo de la carretera Junquito-Colonia Tovar cerca de la frontera entre La Guaira y Caracas.

El capítulo dedica una sección sustantiva al análisis de la interacción estructura-suelo-estructura en el complejo residencial de Playa Grande, Catia La Mar. El caso de estudio es un gran complejo de viviendas públicas en el sector Playa Grande de Catia La Mar, parroquia Urimare, estado La Guaira, en terreno plano inmediatamente tierra adentro de la carretera costera y a unos 11 km al oeste del puerto de La Guaira. El equipo de reconocimiento visitó el complejo los días 13 y 15 de julio de 2026 y regresó el 30 de julio de 2026. Este complejo se describe porque su disposición es similar a la configuración utilizada en estudios idealizados de interacción entre estructuras vecinas. Varios cientos de edificios similares de cuatro plantas, pero construidos en tres fases diferentes y con la misma distribución, están dispuestos en una cuadrícula regular. Dentro de la misma fila, los edificios están separados por unos cinco metros, una distancia pequeña en comparación con las dimensiones de sus propias plantas; entre filas, la separación es de unos dieciséis metros. Dado que las unidades son similares, aunque con algunas diferencias estructurales,

esto se convierte en un interesante caso de estudio para una evaluación más exhaustiva.

Los autores verificaron que no se observaron evidencias de fallas del terreno en ningún lugar dentro del complejo. El equipo no encontró volcanes de arena, material eyectado, fisuras en el terreno ni propagación lateral, ni durante la inspección de campo ni en las imágenes satelitales obtenidas tres días después de los terremotos. El sitio es plano y no presenta ningún frente libre dentro del complejo, por lo que las condiciones que favorecerían la propagación lateral están ausentes, en cualquier caso. Los pavimentos, los bordillos y los senderos peatonales entre los edificios permanecían continuos y sin perturbaciones, excepto en los lugares donde habían caído escombros sobre ellos. No se observaron daños atribuibles a asentamientos diferenciales ni a fallas por capacidad portante. La ausencia de daños o alteraciones en el sistema suelo-cimentación no debe interpretarse como evidencia de que el terreno no haya contribuido al patrón de daños observado. Se ha reportado que la interacción inercial entre una estructura y un suelo deformable puede modificar el movimiento del terreno y afectar a las estructuras vecinas.

Los autores describen el patrón de daño observado. La observación que motivó esta sección es que edificios similares muy próximos entre sí, en cada fase, mostraron daños marcadamente diferentes. En la misma fila, era común encontrar una vivienda cuya planta baja se había derrumbado por completo, justo al lado de otras que no se habían derrumbado pero que presentaban diferentes patrones de daños. Este contraste, que se repitió en numerosas ocasiones en todo el complejo, no es lo que cabría esperar si la carga hubiera sido uniforme y los edificios fueran tan similares como parecen ser para un observador externo. Los daños podrían no distribuirse al azar. Las unidades que colapsaron parecen hacerlo en grupos. En algunas unidades, los daños observados son más significativos en la dirección en la que los edificios están más cerca. Los vecinos dentro de una misma fila están separados por unos cinco metros; los vecinos en filas adyacentes, por 15 metros. Esta observación podría explicarse por la interacción entre estructuras vecinas.

Los autores explican que se ha reportado que una estructura que vibra sobre un suelo deformable irradia energía nuevamente hacia el suelo, y que el campo de ondas radiado alcanza las cimentaciones de los edificios circundantes, de modo que cada estructura es excitada no solo por el movimiento incidente, sino también por el movimiento que sus edificaciones vecinas le imponen a través del suelo. Cuando los edificios son escasos y están muy separados entre sí, este efecto es despreciable; sin embargo, cuando numerosas estructuras idénticas se ubican unas de otras a distancias inferiores a una longitud de onda, las contribuciones se suman coherentemente y el movimiento dentro del conjunto puede diferir de manera apreciable del movimiento de campo libre. Este es el régimen descrito en la literatura sobre la interacción sitio-ciudad, el cual ha sido observado experimentalmente en sitios instrumentados y reproducido en modelos físicos de pequeños conjuntos de edificios.

Los autores ofrecen una interpretación. No se observaron asentamientos diferenciales ni fallas por capacidad portante en el terreno. Además, los daños entre unidades aparentemente similares parecen estar agrupados en lugar de ser aleatorios, y dicha agrupación se produce en la dirección en la que los edificios se encuentran más cerca unos de otros. La posible interacción entre estructuras vecinas, transmitida a través del suelo entre cimientos muy próximos, podría ser un factor que contribuya a los patrones de colapso/no colapso observados y debería investigarse más a fondo. Las observaciones del equipo de campo de GEER no pueden confirmar este mecanismo ni descartar otras dos explicaciones que producirían un patrón similar. La variabilidad lateral del suelo bajo un complejo de esta magnitud generaría diferencias de carga espacialmente correlacionadas; y dado que las unidades se construyen secuencialmente a lo largo de una fila, cualquier variación en el sistema estructural o entre lotes de construcción también se manifestaría fila por fila. Lamentablemente, la alineación de los daños con las filas es coherente con las tres explicaciones, y la observación por sí sola no permite distinguirlas. La interacción a través del suelo difiere del caso más conocido de dos edificios que chocan entre sí, y esta distinción es importante en este caso. El contacto entre unidades vecinas es un mecanismo local que redistribuye fuerzas entre las dos unidades involucradas y deja una huella en el punto de impacto; el equipo no encontró dicha huella en este complejo, ni evidencia de que alguna unidad haya chocado con su vecina. En cambio, el acoplamiento a través del suelo es un efecto de campo: modifica la excitación en todo el grupo y cabría esperar que produjera diferencias entre unidades que nunca entraron en contacto.

La evolución de los códigos de diseño sísmico y la propuesta de Norma Sismorresistente de Emergencia se abordan en el apartado 3.2.

3.2. Normativa sismorresistente y control de calidad

"Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela. Revisión de la fuente sísmica, efectos de campo cercano, respuesta de sitio y lecciones para la normativa sismorresistente" (Genatios y Lafuente, 2026). Este trabajo articula la revisión de la fuente sísmica y los efectos de campo cercano con las implicaciones normativas para el diseño sismorresistente en Venezuela. Su aporte principal es la formulación de una agenda de revisión de la Norma COVENIN 1756-1:2019 que incorpora explícitamente los criterios de campo cercano, directividad, pulsos de velocidad, desplazamiento tectónico permanente y carga secuencial, a partir de las lecciones de casos internacionales (Valdivia, Northridge, Kobe, Chi-Chi, Turquía) y de la evidencia disponible del evento de 2026.

Los autores parten de una constatación fundamental: la ingeniería sísmica suele comenzar con una pregunta aparentemente simple (cuál fue la magnitud del terremoto y a qué distancia ocurrió), pero para el doblete venezolano del 24 de junio de 2026 esa formulación es insuficiente. Dos eventos de gran magnitud ocurrieron en un intervalo muy corto, afectaron un sistema de fallas de cientos de kilómetros de extensión regional y produjeron una distribución de daños cuya

severidad en La Guaira y Caracas llamó la atención desde las primeras horas. En una secuencia así, la noción de un único epicentro como centro geométrico del problema puede inducir a interpretaciones engañosas. Un terremoto de Mw 7,5 no es una fuente puntual: la ruptura ocurre a lo largo de una superficie extensa, el deslizamiento no es uniforme y la energía no se irradia de la misma manera en todas las direcciones.

Los autores reconstruyen la evolución de las soluciones del USGS para el evento Mw 7,5. La solución pasó de una localización cercana a Yumare a una ubicación aproximadamente 17 km al oeste de Catia La Mar, con un desplazamiento del punto preferido del orden de 140 km. Esta documentación es fundamental para comprender la incertidumbre asociada a las soluciones rápidas y la importancia de trabajar con modelos de falla finita en lugar de representaciones puntuales. La incorporación de información adicional, incluyendo observaciones InSAR de NISAR, permitió refinar el modelo de falla finita, particularmente en el tramo oriental de la ruptura. Los datos satelitales aportan una pieza independiente de evidencia: NASA informó que NISAR observó desplazamiento especialmente intenso cerca de Caracas y La Guaira, con movimientos horizontales de hasta aproximadamente 60 cm al sur de un segmento oriental, y que esos datos fueron utilizados por el USGS para refinar el modelo de falla finita.

Los autores distinguen con claridad los fenómenos que deben diferenciarse al hablar de campo cercano. La directividad hacia adelante ocurre cuando la ruptura se propaga hacia el sitio a una velocidad comparable con la de las ondas de corte. Parte de la energía radiada en diferentes instantes llega comprimida en el tiempo y puede formar un pulso grande, especialmente en la componente aproximadamente normal a la falla. El parámetro más intuitivo es el período del pulso, Tp. Si Tp se aproxima al período fundamental de una estructura o a períodos alcanzados durante la degradación no lineal, el desplazamiento y las demandas de ductilidad pueden crecer. Para edificios de mediana altura, puentes y sistemas aislados, los períodos de uno a varios segundos son particularmente relevantes. Esto conecta la fuente con el sitio: los depósitos sedimentarios de La Guaira muestran períodos predominantes que también se ubican en el rango aproximado de un segundo o más. Una evaluación completa debe estudiar si fuente, suelo y estructura se alinearon en bandas de período desfavorables, en lugar de atribuir el daño a un único mecanismo.

Los autores también examinan el fling-step, o desplazamiento tectónico permanente del terreno, que se origina en el desplazamiento irreversible asociado con la ruptura de la falla y es distinto de la directividad de ruptura, aunque ambos efectos pueden coexistir. El desplazamiento tectónico permanente puede manifestarse mediante un pulso de velocidad predominantemente unidireccional que conduce a un desplazamiento final no nulo del terreno, condición que puede ser especialmente relevante para puentes, tuberías, muelles, juntas, apoyos y otros sistemas con capacidad limitada para acomodar grandes desplazamientos permanentes. La componente vertical también puede ser relevante cerca de la fuente. En códigos ordinarios suele recibir un tratamiento simplificado respecto de las componentes horizontales, pero en instalaciones críticas, puentes, elementos en voladizo, conexiones y equipos sensibles puede afectar fuerzas axiales, fricción y capacidad de apoyo.

Los autores analizan la combinación particular de La Guaira, donde la franja entre la montaña y el mar está construida sobre conos aluviales y depósitos costeros de gran espesor. La geomorfología que permitió crear superficies relativamente planas para urbanizar es precisamente la que produce fuertes contrastes de impedancia y cuencas sedimentarias profundas. Cuando una ruptura importante ocurre cerca de esos depósitos, el movimiento que llega desde la fuente puede ser modificado en amplitud, duración y contenido frecuencial antes de alcanzar las edificaciones. Los períodos de vibración del terreno entre 0,9 y 1,8 s son relevantes para edificios intermedios. Esto no significa que todos los edificios de ese rango deban entrar en resonancia, porque el período estructural varía con altura, rigidez, sistema resistente, mampostería y daño. Sin embargo, identifica una banda que debe estudiarse con especial atención en la reconstrucción del movimiento y en la microzonificación. El nivel freático somero introduce otra dimensión: suelos granulares saturados pueden ser susceptibles a licuación y a desplazamiento lateral, especialmente cerca de la costa, canales, muelles y rellenos.

Los autores tratan el doblete como un problema de carga secuencial. La ingeniería normativa suele definir acciones sísmicas mediante un terremoto de diseño o un conjunto de registros independientes. Un doblete fuerte introduce una pregunta distinta: qué ocurre cuando un segundo movimiento severo llega antes de que el sistema haya recuperado un estado elástico o estable. Esta condición puede importar en edificios con degradación cíclica, marcos de concreto con daño en nudos o columnas, mampostería de relleno que pierde rigidez, disipadores que acumulan demanda, aisladores con desplazamiento residual y puentes con apoyos parcialmente desplazados. El efecto no debe generalizarse sin evidencia. Algunas estructuras pueden completar el primer movimiento con daño mínimo y responder al segundo casi como si fuera un evento aislado. Otras pueden experimentar una reducción sensible de rigidez o resistencia. Para responder a esta pregunta se requieren pares de historias temporales que representen ambos sismos en el mismo sitio y respeten el intervalo real entre ellos.

Los autores revisan la Norma COVENIN 1756-1:2019 y su tratamiento de la cercanía de fallas, la microzonificación y los estudios especiales de amenaza. Reconocen que la norma representa un avance significativo respecto de la generación de 2001: define la amenaza en roca mediante parámetros de variación continua, amplía la caracterización de sitio y requiere microzonificación en determinadas condiciones. Es importante no afirmar que la norma "no considera" la cercanía de fallas. El texto consultado establece que los estudios especiales de amenaza deben utilizar modelos apropiados de fuentes sismogénicas y relaciones de atenuación que tomen en cuenta los efectos de la cercanía de las fuentes. Además, el capítulo sobre la amenaza contempla revisión especializada para proyectos por cercanía de fallas. La norma también

reconoce la microzonificación como mecanismo capaz de sustituir parámetros generales por valores locales cuando existe un estudio avalado por la autoridad competente. Conceptualmente, esta es la vía correcta para regiones como Caracas y La Guaira, donde la variabilidad espacial del subsuelo no puede representarse adecuadamente con una sola clase de sitio. El problema es tanto técnico como institucional: disponer de un estudio no garantiza que se convierta en ordenanza, mapa oficial, base de datos interoperable y requisito exigible en permisos de construcción.

Los autores estudian casos internacionales que cambiaron la forma de tratar el campo cercano. Northridge 1994 y el UBC 1997 introdujeron factores de cercanía a falla Na y Nv, que dependían del tipo de fuente y de la distancia, y podían aumentar de forma importante la demanda, especialmente la asociada a velocidad y períodos intermedios. Kobe 1995 mostró la capacidad destructiva de movimientos cercanos a una falla en un entorno urbano y de cuenca compleja. Chi-Chi 1999 generó una extensa ruptura superficial y registros de campo cercano excepcionales, y Taiwán revisó sus procedimientos de fuerza sísmica y espectros con atención expresa al efecto cercano a falla. Nueva Zelanda incorporó un factor de cercanía N(T,D) en NZS 1170.5:2004, pero estudios recientes advierten que, si la directividad ya está incorporada en el modelo probabilístico de amenaza, añadir un factor adicional puede contar dos veces el mismo fenómeno. Kahramanmaraş 2023 constituye un caso contemporáneo de doblete, ruptura extensa y pulsos de campo cercano, y confirma que un terremoto grande no puede representarse mediante un único epicentro; la distancia relevante para el diseño es la relación entre la estructura y la superficie de ruptura. Valdivia 1960 demuestra que, especialmente en terremotos de gran magnitud, la evaluación de los efectos de campo cercano no debe basarse exclusivamente en la distancia al epicentro, sino en parámetros como la distancia mínima a la superficie de ruptura, y en la geometría y extensión de la fuente.

Los autores proponen una agenda de revisión de la normativa sísmica venezolana estructurada en siete prioridades: (1) restablecer la red acelerográfica y estaciones de referencia en roca/suelo; (2) actualizar el mapa de fallas activas y geometrías de fuente; (3) microzonificación vinculante de La Guaira y actualización de Caracas; (4) definir un disparador normativo de estudio near-fault; (5) incorporar directividad al Análisis Probabilístico de la Amenaza Sísmica (PSHA) y selección de registros; (6) requisitos de recuperación funcional para infraestructura crítica; y (7) programa de investigación del doblete 2026. Los autores señalan que la revisión posterior a 2026 debe considerar dos riesgos opuestos: concluir que toda la norma falló porque hubo colapsos, o asumir que, por existir disposiciones sobre cercanía de fallas, no hace falta aprender nada nuevo. Un terremoto que revela una fuente urbana cercana, pulsos plausibles y una gran carencia instrumental justifica revisar tanto el articulado como los mecanismos de implementación.

La revisión de la fuente sísmica y los efectos de campo cercano realizada por Genatios y Lafuente (2026) coincide con la evidencia documentada por el Capítulo 8 del informe GEER (Varela et al., 2026, Cap. 8), relativa a ruptura superficial y desplazamientos cosísmicos. Coincide también con el inventario de manifestaciones de licuación del Capítulo 9 (Montalva et al., 2026, Cap. 9). La caracterización de la directividad, los pulsos de velocidad y la carga secuencial realizada por Genatios y Lafuente (2026) coincide con el análisis de los mecanismos de ruptura (sub-shear y super-shear) y la superposición de ondas realizado por Echezuría (2026). La documentación de la ruptura del cable submarino SAC a 1,8 km de Puerto Viejo y de los daños en la infraestructura de Catia La Mar realizada por Páez-Pumar (2026) confirma la exposición de la infraestructura vital a los efectos de campo cercano.

La propuesta de De Viana (2026) de incorporar el principio de recuperación funcional (Functional Recovery) en los códigos normativos nacionales de edificación y telecomunicaciones amplía la agenda de revisión de la Norma COVENIN 1756-1:2019 formulada por Genatios y Lafuente (2026). Mientras Genatios y Lafuente se concentran en los criterios de campo cercano, directividad, pulsos de velocidad y carga secuencial, De Viana extiende la revisión hacia el desempeño operacional continuo de las instalaciones nodales. Ambos trabajos coinciden en la necesidad de superar el paradigma de la preservación de la vida como único criterio de diseño.

"Manual monográfico de resiliencia urbana y blindaje estructural sismorresistente. Análisis de los colapsos en Caracas y La Guaira bajo la normativa NCh433" (Rebonatto, 2026). Este trabajo aplica el modelo normativo chileno (NCh433, NCh430, NCh203, NCh204 y DS 61) al análisis de los colapsos observados en Caracas y La Guaira durante el evento del 24 de junio de 2026. El manual propone una hoja de ruta que articula la ingeniería de ductilidad y continuidad, la gobernanza preventiva y la rentabilidad macroeconómica de la prevención.

El autor parte de una constatación fundamental: el parque estructural construido en Venezuela durante la segunda mitad del siglo XX presenta vulnerabilidades sísmicas críticas, evidenciadas históricamente por colapsos catastróficos como el del Hotel Macuto Sheraton durante el sismo de Caracas de 1967. Las inspecciones post-sismo, fundamentadas en los protocolos de FUNVISIS y el IMME-UCV, han diagnosticado de manera precisa patologías letales como la irregularidad de "piso blando" y la falla frágil por ausencia de confinamiento transversal en columnas. Sin embargo, el diagnóstico técnico reactivo resulta estructuralmente insuficiente para salvaguardar la vida humana y el patrimonio ante futuros eventos tectónicos. Este manual plantea una evolución integral en la ingeniería nacional: la unificación de los criterios de inspección ex-post de Venezuela con la estricta gobernanza de diseño preventivo (ex-ante) establecida por el modelo normativo chileno. La tesis central es transformar el diagnóstico de vulnerabilidad (como el etiquetado de habitabilidad) en un disparador legal vinculante que obligue a ejecutar proyectos de reingeniería y reforzamiento (retrofitting) bajo el principio de responsabilidad solidaria.

El autor desarrolla un hilo conductor multidisciplinario estructurado en cuatro capítulos. El Capítulo 1 diagnostica la mecánica del colapso histórico por discontinuidad de rigidez vertical (piso blando) y demuestra cómo las exigencias de muros de corte continuos del modelo chileno anulan este riesgo. El autor documenta con detalle el caso del Hotel Macuto Sheraton, ubicado en el sector Caribe de Caraballeda, diseñado y construido en 1955. La torre contaba con 11 pisos sobre el nivel del terreno, con una configuración estructural de concreto armado que presentaba una discontinuidad severa de sus elementos resistentes: los niveles superiores (pisos 5 al 9) estaban rigidizados mediante densos muros de concreto armado combinados con pórtico; los niveles inferiores (Nivel Playa/Semisótono, Lobby y Mezzanina) dependían exclusivamente de un sistema de pórticos puros, sustentados por columnas circulares de 1.10 metros de diámetro en el nivel Mezzanina. Durante el sismo de Caracas del 29 de julio de 1967, la abrupta transición de rigidez convirtió a los niveles inferiores en un clásico mecanismo de "Piso Blando". El Nivel Mezzanina (Piso 3) del Módulo Central fue identificado como el Piso Crítico: de un total de 24 columnas examinadas en dicho nivel, 14 columnas (58%) sufrieron daño estructural calificado como Severo o Completo; solo 4 columnas (17%) presentaron daño Moderado y 6 columnas (25%) quedaron en estado Sin Daño o Leve. Las columnas circulares experimentaron fallas violentas por esfuerzo cortante, caracterizadas por un agrietamiento diagonal severo, desprendimiento masivo del recubrimiento de concreto y el consecuente pandeo de las barras de acero de refuerzo longitudinal debido a un confinamiento transversal insuficiente. Al menos el 55% de las vigas del nivel Mezzanina manifestaron agrietamientos por flexocortante. Se registró el colapso generalizado de los cielos rasos en las áreas del Lobby, la cocina y el Nivel Playa, además de fallas por cortante en las paredes de relleno y la tabiquería de los ascensores. A pesar de albergar a 1.200 personas al momento del evento, el colapso de estos componentes no estructurales provocó de forma directa 2 fallecimientos. La evaluación post-sísmica en los alrededores del hotel evidenció un peligro geológico-geotécnico calificado como Medio/Moderado, gatillado por el fenómeno de licuación del suelo costero.

El autor contrasta este caso histórico con el tratamiento técnico bajo el enfoque sísmico chileno. Si el Hotel Macuto Sheraton hubiese sido parametrizado, calculado y fiscalizado bajo las exigencias de la gobernanza de ingeniería chilena, el comportamiento de la estructura habría cambiado de forma radical. La norma de diseño sísmico chilena NCh433 prohíbe explícitamente o penaliza de forma drástica en el espectro de diseño las irregularidades estructurales verticales del tipo "piso blando". Bajo este estándar, los muros de concreto armado dispuestos entre los pisos 5 y 9 habrían sido obligados a continuar verticalmente de forma ininterrumpida hasta llegar al sistema de fundaciones. Esta densificación basal dota al edificio de una rigidez lateral uniforme, distribuyendo el esfuerzo de corte basal a lo largo de toda la altura y eliminando el punto crítico de concentración de esfuerzos en el nivel Mezzanina. Adicionalmente, la NCh430 exige un confinamiento sísmico y ductilidad del núcleo mediante estribos ultra-densos con ganchos sísmicos a 135°, y el Decreto Supremo DS 61 neutraliza la licuación del suelo mediante exigencias de diseño geotécnico. El control estricto de deformación lateral (drift) para componentes no estructurales es otro principio fundamental del modelo chileno.

El Capítulo 2 examina en la patología de los materiales, correlacionando el daño observable en campo con la necesidad de emplear aceros de alta ductilidad (NCh203 y NCh204) para evitar fallas frágiles. El autor documenta con detalle la patología en elementos de concreto armado y el rol del acero de refuerzo. Durante la inspección del piso crítico en estructuras de pórticos de concreto, el inspector evalúa visualmente el ancho de las grietas y el desprendimiento del hormigón. La mecánica subyacente de estas patologías depende directamente de la calidad y el detallado del acero de refuerzo interno regulado en Chile por la norma NCh204. El autor distingue entre Daño Menor (grietas < 1 mm), que corresponde al comportamiento elástico y micro-agrietamiento controlado del concreto por flexión; Daño Moderado (grietas entre 1 y 2 mm con aplastamiento local), donde el elemento estructural ha superado su límite elástico y el acero de refuerzo longitudinal entra en su zona de fluencia; y Daño Severo a Completo (grietas > 2 mm, caída masiva de concreto, acortamiento y pandeo), que representa la degradación total de la sección compuesta. Ante la ausencia de un confinamiento transversal denso exigido por la NCh430, el concreto del núcleo se tritura por compresión cíclica, eliminando el soporte lateral de las barras longitudinales. Esto gatilla el pandeo violento del acero de refuerzo, provocando la pérdida instantánea de la capacidad portante vertical de la columna y conduciendo al colapso progresivo tipo "panqueque". El autor también documenta la patología en estructuras de acero y los requisitos de calidad estructural (NCh203), incluyendo el mecanismo de pandeo local y cedencia del alma, y la fractura en conexiones soldadas y pernadas.

El autor elabora una matriz de correspondencia mecánica, metalúrgica y de reingeniería que correlaciona los hallazgos de la inspección de campo (FUNVISIS) con las propiedades mecánicas comprometidas y las soluciones técnicas de reingeniería. Para columnas de concreto con grietas diagonales a 45° con desconchado severo, la solución es el encamisado de columnas de hormigón con confinamiento mediante nueva armadura densa de acero de alta resistencia. Para estructuras de acero con pandeo local en vigas o fractura en uniones soldadas, la solución es la adición de contravientos y disipadores. Para muros de concreto con grietas de ancho entre 2 y 6 mm con aplastamiento, la solución es la densificación periférica mediante construcción de muros de corte externos adosados. Para apoyo de columnas con deformación o desgarramiento de la placa base, la solución es la inyección epóxica y pilotaje profundo.

El Capítulo 3 aborda la viabilidad institucional y financiera, demostrando que la adopción de la figura del Revisor Independiente y la inversión preventiva en reingeniería son imperativos macroeconómicos para evitar la pérdida de un porcentaje crítico del PIB Nacional. El autor documenta el modelo chileno de responsabilidad solidaria (LGUC y Revisor

Independiente) y lo contrasta con el modelo venezolano actual, ejemplificado en el manual de inspecciones de FUNVISIS, que posee un enfoque predominantemente Ex-Post (reactivo). La propuesta central es integrar ambos enfoques: la inspección de FUNVISIS no debe ser el final del proceso, sino el disparador legal. Una etiqueta Roja o Amarilla debe activar una auditoría estructural obligatoria ejecutada bajo la figura de un Revisor Independiente. Este revisor certificaría que el proyecto de reingeniería obligatoria (Reforzamiento/Retrofitting) cumple con los estándares de desempeño modernos para anular la vulnerabilidad residual, transformando la inspección reactiva en una mitigación preventiva.

El autor desarrolla un análisis de costo-beneficio del retrofitting que concluye que la inversión preventiva es macroeconómicamente superior a la reconstrucción. El costo de un colapso total (inacción) es devastador macroeconómicamente. Se estima que las pérdidas económicas directas e indirectas de un sismo mayor en zonas urbanas críticas (como La Guaira/Caracas) pueden comprometer hasta el 2% del PIB nacional. Este costo incluye no solo la reconstrucción total de activos, sino la pérdida de actividad económica, costos sociales de emergencia, indemnizaciones, y el impacto sobre infraestructura esencial. El análisis financiero indica que la intervención preventiva es más rentable que la reconstrucción. Intervenir el parque antiguo mediante técnicas de reingeniería (como el encamisado de columnas o la adición de disipadores) cuesta solo del 15% al 25% del valor de un colapso total (valor de reposición de 100%). El reforzamiento preventivo no es un costo hundido; es una inversión que protege el 100% del valor del activo y neutraliza el riesgo de pérdidas macroeconómicas catastróficas. Este análisis demuestra que la inacción es diez veces más costosa que la prevención.

El Capítulo 4 ofrece un portafolio técnico e ilustrado de estrategias de blindaje estructural, detallando la ejecución del encamisado de columnas, la adición de disipadores de energía y la construcción de muros de corte externos. El autor detalla el proceso secuencial del encamisado de columnas de concreto (column jacketing): picado de la superficie antigua para garantizar la adherencia, colocación de una armadura de confinamiento transversal ultra-densa (espirales o estribos cerrados con ganchos a 135°, exigidos por NCh430 y NCh204), y vaciado con concreto de alta resistencia. El fundamento técnico es que el encamisado confina el núcleo de concreto existente, impidiendo el pandeo de las barras longitudinales y obligando al material a plastificarse de forma controlada sin perder su capacidad de carga vertical. El autor también describe la adición de sistemas de disipación de energía y contravientos sísmicos, que reducen drásticamente la demanda sísmica global que impacta a la estructura existente, absorbiendo y disipando la energía antes de que dañe los elementos de concreto vulnerable. La construcción de muros de corte externos (reforzamiento periférico) provee rigidez lateral y redundancia estructural a edificios de pórticos vulnerables, dotándolos del "Modelo de Muros de Corte Continuos" chileno. Al adherir muros periféricos rígidos que continúan sin interrupciones hasta el subsuelo, se neutraliza la irregularidad de piso blando, garantizando que el edificio se desplace de manera uniforme y estable, anulando el colapso panqueque.

La revisión normativa también debe considerar las regiones donde la amenaza sísmica ha sido subestimada, como el Escudo de Guayana, donde la evidencia de sismicidad de profundidad intermedia y de atenuación anómala plantea la necesidad de revisar los coeficientes de diseño estructural para esa región (Mariño, 2026).

La revisión de la normativa sismorresistente requiere comprender su evolución histórica. El panorama de los códigos de diseño sísmico venezolanos, desde 1939 hasta 2026, permite identificar los avances y las limitaciones que persisten en la norma vigente.

El Capítulo 11 del informe GEER (Fargier-Gabaldón et al., 2026, Cap. 11) presenta un panorama general de los códigos de diseño sísmico (1939-2026). El primer documento que incluyó los efectos sísmicos fue el Código de Diseño del Ministerio de Obras Públicas (MOP) de 1939. Sin embargo, no incluye microzonificación sísmica para todo el país. Los edificios situados cerca de regiones montañosas o cerca de las costas (donde se ubican las principales fallas de Venezuela) debían resistir fuerzas laterales. Se prescribió un coeficiente sísmico, definido como la relación entre el esfuerzo cortante en la base y el peso del edificio, igual a 0.05, basándose en el diseño por esfuerzos admisibles de los materiales. En 1947 se publicó una nueva versión del código. Contaba con tres zonas sísmicas, A, B y C, con coeficientes sísmicos de 0.10, 0.05 y 0 (sin amenaza sísmica), respectivamente. La Guaira y Caracas fueron asignadas a la Zona A. Ni la versión de 1939 ni la de 1947 del Código MOP especificaban el control de desplazamientos para los edificios.

Los autores del Capítulo 11 señalan que la mayoría de los edificios afectados por los terremotos del 24 de junio de 2026 fueron diseñados después de 1955. Tras el terremoto que azotó El Tocuyo en 1950, se publicó el Código de Diseño de 1955. El país estaba dividido en tres zonas sísmicas. El estado de Sucre y partes de Táchira y Lara, con la mayor amenaza sísmica, fueron designados como zona C. La mayoría de los estados al oeste de la falla de Boconó, y al sur de los estados de Aragua, Carabobo, Miranda, Anzoátegui y Monagas, fueron asignados a la zona sísmica B (que incluye La Guaira y Caracas), con un riesgo intermedio, y el resto del país fue asignado a la zona A (sin amenaza sísmica). Para la estructura típica con armazón, los edificios debían diseñarse con un coeficiente sísmico igual a 0.3 / (N+4.5), donde N es el número de pisos. Para las estructuras que resisten las fuerzas inducidas por terremotos mediante muros, el coeficiente sísmico fue de 0.05. Los coeficientes sísmicos se basaron en el diseño por esfuerzos admisibles, como en los códigos de 1939 y 1947. En consecuencia, los coeficientes sísmicos deben multiplicarse por aproximadamente 1.5 para poder compararlos con los códigos de diseño sísmico modernos basados en el diseño por resistencia última. Además, en ocasiones se adoptó una interpretación no oficial de este coeficiente, lo que en algunos casos llevó al diseño de edificios con demandas de fuerza lateral menores a las previstas. El Código MOP 1955 no

prescribía el control de desplazamientos de las estructuras durante los terremotos.

El diseño sismorresistente se incorporó por primera vez a las normativas en 1967, tras el terremoto de Caracas. Poco después del terremoto de 1967, el Ministerio de Obras Públicas, MOP, publicó la "Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas". El país se dividió en tres microzonas: desde la zona 3, con los requisitos más estrictos, hasta la zona 0, definida como la zona sin actividad sísmica. La Guaira fue clasificada como zona 3. El código tuvo en cuenta las condiciones del sitio. Los edificios que resisten los efectos de los terremotos con pórticos resistentes a momento "dúctiles" se clasifican como Grupo I. El Grupo II incluye sistemas de muros de corte, hechos de hormigón o mampostería, que fueron designados como sistemas frágiles. El Grupo III incluye edificios de tipo péndulo, con una sola columna. En lo que respecta a las condiciones del sitio, se hizo una distinción entre edificios sobre roca y edificios sobre depósitos aluviales. La relación de deriva lateral de la estructura se calculó con las fuerzas laterales prescritas por el código, que se limitó al 0.2 % (sin amplificación del desplazamiento lateral). Los análisis estructurales se basaron en las propiedades de la sección transversal bruta. También se establecieron requisitos de detalle para los edificios de hormigón armado, basándose en los modos de falla observados en el terremoto de Caracas de 1967.

La norma COVENIN 1756-82, "Norma Venezolana de Edificaciones Antisísmicas", introdujo mejoras significativas. Las estructuras esenciales se clasificaron como Grupo A, y todas las demás estructuras como Grupo B. Se especificaron límites para controlar la deriva lateral de las estructuras de los edificios. Para edificios con componentes no estructurales susceptibles de sufrir daños, la relación límite de deriva lateral fue de 0.015 (Grupo A), y para edificios no susceptibles, la relación fue de 0.024 (Grupo B). Para un edificio residencial o comercial típico susceptible a daños no estructurales, la relación de deriva límite fue de 0.018. Los análisis estructurales se basan en las propiedades de la sección transversal bruta.

Tras el terremoto de Cariaco (1997), se publicó un nuevo Código, el Código COVENIN 1756-01. El país estaba dividido en 8 zonas sísmicas. A la Zona Sísmica 7 se le asignó una aceleración máxima del terreno (PGA) de 0.4g, cerca de Cariaco. A La Guaira y Caracas, en la Zona 5, se les asignó una PGA de 0.3g. El Código especificaba tres grupos de edificios. El Grupo A incluye instalaciones esenciales; el Grupo B incluye instalaciones con capacidad para más de 3000 personas o con una superficie superior a 20000 m^2; y el Grupo C incluye edificios residenciales y comerciales. El espectro de diseño sigue el formato establecido por la norma. El sitio está dividido en cuatro categorías que también consideraron la profundidad del depósito de suelo (H). La relación de deriva lateral de los edificios se limitó a 0.012 para el Grupo A (instalaciones esenciales susceptibles de sufrir daños en componentes no estructurales). Para los edificios comerciales o residenciales típicos susceptibles a sufrir daños en sus componentes no estructurales, la relación de deriva lateral se limitó a 0.018, como en el Código 1756-82. Los análisis estructurales se basaron en las propiedades de la sección transversal bruta.

El Código COVENIN 1756-19 es una adaptación del ASCE-07 (2016, American Society of Civil Engineers) y es el código vigente en Venezuela. Se especifican mapas de peligros con la PGA y la aceleración espectral de 1 segundo para obtener el espectro de diseño. Para La Guaira, se especifica una PGA de 0.3g y una pseudoaceleración espectral de 0.27g con un período de 1 s sobre roca. La clasificación del suelo es bastante similar a la especificada en ASCE-07 (2016), excepto por los sitios adicionales AB, BC, CD y DE, que corresponden a la transición entre sitios que se clasifican como A (Vs >1500 m/s), B (1300 m/s > Vs > 800 m/s), C (600 m/s > Vs > 450 m/s), D (200 m/s > Vs > 300 m/s) y E (120 m/s > Vs > 170 m/s). El espectro de diseño sigue el mismo formato que el especificado en ASCE-07 (2016), incluyendo factores para tener en cuenta cada tipo de sitio, la profundidad de los depósitos de suelo y la topografía del sitio. Las estructuras de los edificios se clasifican en A1 (instalaciones críticas de alto impacto), A2 (instalaciones esenciales), B1 (edificios de alta ocupación, con más de 3000 personas, una superficie superior a 20000 m^2 o edificios de más de 20 plantas o más de 60 metros de altura), B2 (edificios residenciales o comerciales típicos) y C (construcciones temporales o instalaciones agrícolas sin ocupación humana permanente). La deriva lateral calculada de los edificios está limitada por el Código. Por ejemplo, para edificios clasificados como A1, con componentes no estructurales frágiles, la relación de deriva calculada no deberá exceder de 0.008, y para un edificio residencial o comercial típico, la relación de deriva no deberá exceder de 0.012. Las propiedades de la sección se calculan suponiendo que la sección transversal está agrietada.

Los autores examinan las consideraciones geotécnicas y las limitaciones del código. El tratamiento de los efectos geotécnicos sísmicos ha evolucionado considerablemente en los códigos de construcción venezolanos. Las primeras disposiciones del MOP de 1939, 1947 y 1955 se basaban principalmente en coeficientes de fuerza lateral simplificados y no consideraban explícitamente la respuesta local del sitio, la interacción suelo-estructura, la licuación, la inestabilidad de taludes, la amplificación topográfica o la deformación permanente del terreno. Las disposiciones provisionales de 1967 introdujeron una distinción básica entre depósitos rocosos y aluviales, mientras que las normas COVENIN 1756-82 y COVENIN 1756:2001 incorporaron progresivamente clases de sitio, espectros de respuesta dependientes del suelo, requisitos de cimentación y evaluación del potencial de licuación. En particular, el comentario de 2001 reconoció la susceptibilidad de los suelos granulares sueltos y saturados, especialmente en depósitos jóvenes como los ambientes deltaicos y los rellenos hidráulicos. Sin embargo, estas disposiciones siguieron centrándose principalmente en la clasificación unidimensional del sitio y el diseño convencional de cimentaciones, sin un marco integral para evaluar los efectos combinados de la geomorfología, la deformación permanente del terreno y la respuesta estructural. La norma COVENIN 1756-1:2019 representa una mejora sustancial, ya que incorpora explícitamente factores relacionados con las

condiciones topográficas, la profundidad del lecho rocoso, la evaluación de la inestabilidad de taludes, el potencial de licuación, la proximidad a fallas, la microzonificación y el análisis opcional de la interacción suelo-estructura. La norma asigna factores de amplificación para condiciones topográficas moderadas y severas, y exige evaluaciones de amenaza por inestabilidad de taludes para los sitios ubicados en, sobre o cerca de laderas suficientemente empinadas. También incluye requisitos para cimientos, estructuras de contención, suelos potencialmente licuables, la degradación de la resistencia del suelo tras un terremoto y evaluaciones de estabilidad para clases de sitio especiales. La interacción suelo-estructura puede incorporarse al modelo estructural, aunque su uso se presenta como opcional y no como una evaluación generalmente obligatoria. A pesar de estos avances, ni las normas anteriores ni la revisión de 2019 proporcionan un procedimiento totalmente integrado para edificios ubicados en abanicos aluviales u otros entornos geomorfológicamente complejos. Los depósitos de abanicos aluviales pueden presentar una marcada heterogeneidad lateral y vertical, contrastes abruptos de rigidez, canales enterrados, lentes granulares sueltas, aguas subterráneas poco profundas y susceptibilidad a asentamientos diferenciales, la licuación, la propagación lateral o la cizalladura del terreno inducida sísmicamente. Las normas tampoco formulan explícitamente escenarios de diseño para depósitos de flujos de detritos, transiciones entre el ápice y el margen del abanico aluvial, propagación lateral hacia frentes de costeros o canales, deformación del terreno relacionada con fallas o la interacción entre el movimiento de laderas y los cimientos de los edificios. Por lo tanto, el cumplimiento de una clasificación de sitio y un espectro de respuesta convencionales puede no representar adecuadamente la demanda sísmica, donde la deformación del terreno, en lugar de la respuesta estructural inercial por sí sola, influye en el desempeño. La misma precaución se aplica a la interacción suelo-estructura. La flexibilidad de los cimientos generalmente alarga el período efectivo e introduce traslación, balanceo, amortiguamiento por radiación y cambios en el movimiento de entrada de los cimientos. Sin embargo, estos efectos no deben considerarse automáticamente beneficiosos. Los autores del Capítulo 11 citan que Mylonakis y Gazetas (2000) demostraron que la interacción suelo-estructura puede reducir o aumentar la demanda sísmica dependiendo de la relación entre la rigidez del suelo, las características de la cimentación, el período estructural, la ductilidad y la forma del espectro de respuesta. En consecuencia, para estructuras cimentadas en terrenos blandos, sueltos, saturados, sensibles, colapsables, muy variables o inclinados, la evaluación sísmica debe ir más allá del espectro mínimo del código e incluir un análisis de la respuesta del terreno específico del sitio, la flexibilidad de los cimientos, la posible deformación permanente del terreno y la posible degradación de la resistencia y rigidez del suelo durante la carga cíclica.

Sobre la base de este panorama normativo, la propuesta de Norma Sismorresistente de Emergencia elaborada por el Comité Técnico Asesor del Terremoto constituye la respuesta normativa más concreta generada por el evento.

La propuesta de Norma Sismorresistente de Emergencia (López et al., 2026) constituye la respuesta normativa más concreta generada por el evento. Su finalidad es responder a la necesidad de vivienda y de otras edificaciones de la población afectada por el terremoto, así como regular la reparación y el reforzamiento de las construcciones dañadas. La norma debe aplicarse en conjunto con la Norma COVENIN 1756-1:2019 en los artículos que no sufren modificaciones. Sus componentes principales son:

Aumento de los movimientos sísmicos de diseño. Se incorpora un Factor de Campo Cercano que amplifica el espectro de respuesta, y se establecen limitaciones para la construcción en zonas situadas cerca de la falla de San Sebastián.

Aumento de las fuerzas de diseño de pórticos de concreto reforzado. Se aumentan las fuerzas de diseño de pórticos (vigas y columnas) que contienen paredes de relleno de materiales frágiles y pesados, como bloques de arcilla o de concreto, ya sea que estén dentro o fuera del pórtico. Se exigen menores desplazamientos y derivas laterales para promover edificaciones más rígidas, en consonancia con la experiencia del terremoto, que demostró el mejor desempeño de los edificios de muros sobre los edificios de pórticos. Estas limitaciones en derivas protegen las paredes con bloques de arcilla para evitar daños excesivos. Al mismo tiempo, se promueve el uso de materiales livianos y flexibles como paredes de relleno.

Anclajes pared-estructura. Se destaca la obligatoriedad de disponer de anclajes de las paredes a la estructura, para evitar el desplome de las paredes de mampostería observado durante el terremoto del 24 de junio de 2026. El anclaje debe ser con las vigas y con las columnas, y aplicarse tanto a las paredes exteriores como a las interiores. En las paredes que no están dentro de elementos estructurales (vigas y columnas) se deberán colocar machones y vigas de corona que garanticen su estabilidad. Una alternativa es el uso de paredes más livianas y flexibles, como las placas de yeso laminado (dry-wall) o similares. Otra opción es separar las paredes de los pórticos, pero se debe garantizar su estabilidad fuera del plano mediante elementos de confinamiento, anclajes, machones, vigas de corona u otras estrategias de apoyo. El sistema de anclaje debe señalarse en los planos de arquitectura y de estructura.

Revisión independiente e inspección de las obras. Se enfatiza la importancia de la revisión independiente de los proyectos y de la inspección de las obras, práctica común en países sujetos a la acción de terremotos. El proyecto debe ser revisado y aprobado por la Ingeniería Municipal, de acuerdo con lo indicado en los artículos 85 y 87 de la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística, el artículo 61 del Reglamento de la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística y los artículos 1, 3.2, 5, 6 y 8 de la Ley Orgánica del Sistema Venezolano para la Calidad. La Ingeniería Municipal puede establecer los reglamentos necesarios para financiar la contratación del ingeniero revisor; una opción utilizada en otros países es que el ingeniero revisor sea financiado por el propietario de la obra. La Ingeniería Municipal debe disponer de un listado de especialistas en ingeniería estructural y sismorresistente para facilitar la selección del revisor del proyecto.

El trabajo de Bonilla (2026), cuya documentación de errores de ejecución y control de calidad se abordó en el apartado 3.1.1, presenta en este apartado propuestas concretas de ajuste normativo y de gobernanza. A nivel normativo, propone exigir que los empalmes por solape de las barras de una misma columna no sean realizados en el mismo entrepiso; revisar el factor R de reducción para estructuras aporticadas en zonas con alta sismicidad; contemplar mayores rigideces en columnas de planta baja o secciones mayores; redefinir los recubrimientos con base en controles de permeabilidad del concreto; y añadir que se debe aprovechar al máximo los 12 metros de los aceros en lugar de buscar hacer empalmes por solape en cada entrepiso. A nivel de gobernanza, propone incorporar equipos externos de alto nivel para el seguimiento de construcciones; incorporar criterios de selección basados en experiencia comprobable y verificable para residentes e inspectores; y retomar la práctica de revisión de diseños estructurales por profesionales expertos en las ingenierías municipales, práctica que se perdió después de 1967.

3.3. Respuesta de sitio e interacción suelo-estructura

"Evidencias empíricas del impacto del comportamiento del suelo en la respuesta estructural de las edificaciones durante el terremoto del 24 de junio de 2026 en Venezuela" (Pinto, 2026). Analiza la influencia del comportamiento del suelo en la respuesta estructural de las edificaciones durante el evento del 24 de junio de 2026. El trabajo se concentra en la relación entre el comportamiento del suelo (amplificación de cuenca, licuación, deformación permanente, efectos topográficos) y la respuesta estructural observada en Caracas, Catia La Mar y Caraballeda. Su aporte principal es la documentación empírica de esta relación a partir de dos campañas de reconocimiento postsísmico, y la formulación de una metodología para correlacionar la deformación del terreno, el movimiento de la cimentación y la respuesta estructural residual dentro de un mismo sistema de referencia.

El autor parte de una constatación fundamental: la secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 incluyó un evento Mw 7,2 y, aproximadamente 38 segundos después, un evento Mw 7,5 asociado preliminarmente con ruptura dextral del sistema de fallas de San Sebastián, según los reportes institucionales disponibles. La proximidad de la fuente y la propagación hacia el este impusieron una demanda severa sobre el centro-norte de Venezuela. Sin embargo, la distribución del daño no fue uniforme. Caracas mostró concentraciones recurrentes en sectores de la cuenca sedimentaria. En La Guaira, Catia La Mar presentó licuación costera e inestabilidad en los márgenes de una terraza sedimentaria, mientras que Caraballeda mostró deformación extensa sobre el sector distal de un abanico aluvial. El objetivo del comentario es presentar y analizar evidencias empíricas del impacto del comportamiento del suelo sobre la respuesta estructural de las edificaciones. En Caracas se examina la correspondencia espacial entre la respuesta de la cuenca, los períodos predominantes y el daño en edificios de diferentes alturas. En Catia La Mar y Caraballeda se analiza cómo la pérdida de soporte y la deformación permanente del terreno impusieron asentamientos, giros y traslaciones a las cimentaciones. La evidencia se interpreta sin atribuir causalidad únicamente al suelo, pues la altura, la edad, el sistema resistente, las intervenciones y la condición previa también controlan el desempeño.

El autor reporta que en Caracas se documentaron daños severos y colapsos en edificaciones de alturas distintas. Los casos publicados incluyen el Edificio Juvenal, residencia de seis pisos y más de sesenta años de antigüedad en San Bernardino, y una torre de dieciséis pisos del conjunto Petunia en Los Palos Grandes. En ese conjunto se inspeccionó también el Petunia II, de veintiún niveles, construido entre 1965 y 1966 y reforzado en 1968. El intervalo de seis a veintiún niveles confirma que la altura no explica por sí sola el desempeño. La ciudad ocupa una depresión tectónica alargada, limitada por rocas metamórficas y rellena por depósitos aluviales pleistocenos y holocenos de marcada heterogeneidad lateral y vertical. El espesor de sedimentos es menor de 10 m cerca de los bordes, supera 100 m en sectores centrales y orientales y excede localmente 200 m en Los Palos Grandes. Los perfiles disponibles indican velocidades de onda de corte de aproximadamente 200 a 500 m/s en los estratos someros y de 500 a 800 m/s a mayor profundidad, frente a valores cercanos a 2500 m/s en el basamento. Este contraste de impedancia, combinado con la geometría profunda de la cuenca, favorece atrapamiento de ondas, reverberaciones y generación de ondas superficiales. La caracterización dinámica de Caracas combina información de perforaciones y excavaciones con mediciones sísmicas, gravimetría, arreglos instrumentales y vibraciones ambientales. Las mediciones H/V identifican en el sector oriental profundo máximos alrededor de 0,6 Hz, equivalentes a períodos cercanos a 1,7 s. Estos períodos aumentan con el espesor de sedimentos y constituyen una variable central de la microzonificación sísmica, junto con Vs30, la geometría del basamento y la geología superficial.

El autor explica que la altura de una edificación se relaciona con su período fundamental, la participación de modos superiores, la distribución de cortantes y la demanda de desplazamiento. Por esta razón, los períodos largos de los sectores profundos pueden coincidir con la respuesta de edificios de mediana y gran altura y aumentar sus derivas cuando existe compatibilidad entre el contenido frecuencial del movimiento y los modos estructurales. Esta interpretación es coherente con el daño de 1967, cuando los cuatro edificios colapsados en Los Palos Grandes y Altamira tenían 10, 12, 10 y 11 entrepisos, y con la recurrencia del daño en 2026. Sin embargo, la coincidencia de períodos no demuestra causalidad ni excluye efectos bidimensionales y tridimensionales de la cuenca, documentados en la literatura sobre respuesta sísmica de cuencas sedimentarias. Los casos inspeccionados, de seis a veintiún niveles, muestran que no existe una única franja crítica. Dos edificios con alturas semejantes pueden tener períodos y capacidades diferentes según su sistema resistente, dimensiones, muros de relleno, irregularidades, intervenciones y estado de conservación. El análisis debe comparar el período medido de cada estructura con el período del suelo en su emplazamiento y utilizar como denominador el inventario total de edificios expuestos en cada clase de altura.

El autor precisa que la altura debe analizarse junto con la antigüedad y el tipo de intervención. El Petunia II, construido entre 1965 y 1966, permaneció en pie después de ser reforzado en 1968 con muros de concreto hasta el piso 8, columnas perimetrales engrosadas hasta el nivel 21 y una transición de rigidez en los niveles 9 y 10, según la documentación técnica disponible. En cambio, la torre de 16 pisos cuya intervención se concentró en ampliar columnas colapsó. En San Bernardino, el arriostramiento exterior de (e) aumenta la rigidez lateral, mientras que (f) muestra el colapso de seis niveles. Estos contrastes no prueban causalidad, pero exigen analizar continuidad de rigidez, resistencia y ductilidad, irregularidades, condición previa y períodos del suelo y la estructura.

El autor describe cómo en La Guaira el impacto del comportamiento del suelo sobre las edificaciones se expresó principalmente a través de deformaciones permanentes del terreno y de los movimientos que estas impusieron a las cimentaciones. La respuesta observada varió con el ambiente geomorfológico. En Catia La Mar coexistieron la terraza pleistocena del Grupo Cabo Blanco, sus bordes urbanizados y las franjas costeras bajas; en Caraballeda, el desarrollo urbano se extiende sobre abanicos aluviales heterogéneos con nivel freático somero y descarga hacia el litoral. En los depósitos granulares saturados de la zona distal, la carga cíclica favoreció tres efectos: el aumento de la presión de poros, la pérdida de esfuerzo efectivo y la reducción de rigidez y resistencia. Cuando esta degradación se combinó con una superficie libre o con cambios de pendiente, se produjeron asentamientos, rotaciones y desplazamientos laterales. La evidencia se presenta siguiendo esta secuencia física: comportamiento del suelo, deformación del terreno, movimiento de la cimentación y respuesta estructural, siguiendo la secuencia metodológica adoptada en este trabajo.

El autor observa que Catia La Mar mostró respuestas estructurales diferentes en edificaciones de altura comparable. En el entorno del margen de la terraza de Playa Grande, edificios de aproximadamente 10 a 15 niveles permanecieron en pie, aunque mostraron daño estructural cuyo grado varió de una edificación a otra. En el mismo sector, una edificación de alrededor de 12 niveles colapsó de forma asimétrica. Este contraste indica que ni el número de pisos ni la condición de permanencia en pie describen por sí solos el desempeño. La interpretación debe incorporar la posición del edificio dentro de la unidad geomorfológica, la intensidad y distribución del daño, la posible pérdida de soporte o movimiento de la cimentación, el sistema resistente, la regularidad, la antigüedad, las intervenciones y la condición previa. Las observaciones de campo permiten distinguir dos expresiones generales del comportamiento del suelo. En las zonas costeras bajas, la presencia de surgencias de arena, fisuras, asentamientos y pérdida de soporte es compatible con licuación y deformación lateral de depósitos saturados. En los bordes de la terraza, la respuesta estuvo asociada a deformaciones e inestabilidades localizadas del terreno, capaces de modificar el soporte lateral y vertical de las cimentaciones. La geometría de la terraza y la proximidad de las edificaciones a su borde también hacen necesario considerar efectos topográficos, incluida una posible modificación espacial de la amplitud y del contenido frecuencial del movimiento. Esta hipótesis debe evaluarse mediante mediciones y análisis específicos, y no inferirse únicamente del daño. Tanto la deformación del terreno como los efectos topográficos pueden contribuir a respuestas distintas entre edificios cercanos. Por ello, las fotografías deben leerse como evidencia del desempeño final de las estructuras, pero no como demostración aislada del mecanismo causal. Su evaluación requiere relacionar la intensidad y distribución del daño con la posición topográfica, la deformación del terreno y la respuesta de la cimentación.

El autor caracteriza Caraballeda como un emplazamiento sobre abanicos aluviales coalescentes con una marcada heterogeneidad horizontal y vertical. La estratigrafía puede cambiar en distancias cortas y alternar materiales muy gruesos, incluidos bloques, gravas y arenas gruesas, con capas de arenas finas, limos y otros sedimentos de menor tamaño. También varían la compacidad, la continuidad de los estratos y la profundidad del basamento. En términos generales, en la zona alta los sedimentos son menos profundos y predominan materiales más gruesos; hacia la zona distal, el relleno sedimentario alcanza mayor profundidad, incorpora depósitos más sueltos o retrabajados y se encuentra saturado por un nivel freático somero.

Esta configuración es consistente con la dinámica sedimentaria documentada durante las lluvias de 1999, que incorporaron grandes volúmenes de sedimentos y modificaron localmente la superficie del abanico. Debido a esta heterogeneidad y a la nueva información recopilada, los períodos fundamentales publicados para Macuto, Caraballeda y Tanaguarena deben reevaluarse mediante la caracterización desarrollada durante la segunda campaña.

El autor añade que a las condiciones de la respuesta geotécnica sísmica del abanico se sumó una demanda sísmica característica de un evento cercano a la falla. El movimiento inferido a partir de cámaras de seguridad mostró un pulso de velocidad de gran amplitud y marcado carácter direccional, compatible con efectos de directividad asociados con la propagación de la ruptura. Los análisis indican que este pulso concentró una parte importante de la demanda en períodos relevantes para edificaciones de mediana altura y para sistemas suelo-cimentación susceptibles a deformaciones permanentes. Su dirección y contenido temporal son coherentes con la orientación predominante de algunos desplazamientos del terreno y con la concentración del daño en el sector distal del abanico. Esta correspondencia no demuestra una relación causal directa, pero permite interpretar conjuntamente la demanda sísmica cercana a la fuente, la pérdida de rigidez y resistencia de los depósitos saturados, la expansión lateral y la respuesta diferenciada de las edificaciones.

El autor localiza la evidencia más clara del impacto del suelo en el sector distal. Allí se documentaron surgencias de arena, asentamientos, fisuras, rotaciones y desplazamientos hacia el litoral, compatibles con licuación y relajación lateral. Este patrón muestra que la demanda no se limitó a vibraciones transitorias: el terreno experimentó deformaciones permanentes que debieron ser acomodadas por las cimentaciones y las superestructuras. Este ambiente general de

deformación produjo respuestas contrastantes entre los distintos cuerpos estructurales del antiguo Hotel Sheraton. Los tres cuerpos estuvieron expuestos al mismo ambiente general de deformación, pero no desarrollaron la misma respuesta. El edificio original, dañado en 1967 y reforzado posteriormente, presentó fallas localizadas principalmente en vigas. El edificio más reciente de hormigón armado, configurado con muros robustos, no mostró daño estructural evidente durante la inspección. Ambos cuerpos de hormigón se reconocen históricamente como estructuras fundadas sobre pilotes, lo que sugiere que el sistema de fundación condicionó su respuesta. En contraste, el anexo de acero, que aparentemente no estaba fundado sobre pilotes, experimentó colapso parcial y deformaciones importantes en columnas, vigas y componentes del sistema de resistencia lateral. La diferencia en el sistema de fundación constituye, por tanto, una variable central para interpretar la transferencia de asentamientos y desplazamientos laterales desde el terreno. Sin embargo, el contraste no puede atribuirse únicamente a los pilotes: la rigidez, la continuidad, la redundancia, el detalle de las conexiones y las intervenciones previas también controlaron la forma en que cada estructura acomodó la demanda cinemática.

El autor extiende esta interpretación a lo largo del abanico. En la zona alta, las edificaciones conservaron su estabilidad global, aunque presentaron daño local. En la zona distal, caracterizada por menor pendiente, nivel freático somero y depósitos potencialmente más sueltos o retrabajados, coexistieron edificios en pie, daño severo y colapsos. Esta distribución es compatible con una mayor susceptibilidad a licuación y expansión lateral hacia la costa, pero no demuestra que la posición geomorfológica haya controlado por sí sola cada respuesta. Para establecer esa relación se requieren levantamientos de la deformación del terreno y de las cimentaciones, junto con la identificación del sistema resistente, la antigüedad, las irregularidades, las intervenciones y la condición previa de cada edificio.

El autor subraya que las observaciones de Catia La Mar y Caraballeda requieren separar dos verificaciones que suelen confundirse: la integridad estructural de la fundación y su estabilidad cinemática. Pilotes, losas o vigas de fundación pueden conservar su capacidad y no mostrar daño visible, pero acompañar el asentamiento, la rotación o la traslación del suelo. En ese caso, la cimentación transmite desplazamientos y giros a la superestructura sin que exista necesariamente una falla resistente de sus elementos. La respuesta resultante depende de la distribución espacial de la deformación del terreno, la geometría de la cimentación y la rigidez relativa del sistema suelo-cimentación-estructura. El efecto estructural depende del modo de deformación impuesto. Un asentamiento aproximadamente uniforme puede afectar accesos, tuberías y juntas sin producir una distorsión importante del sistema resistente. El asentamiento diferencial induce curvatura y redistribución de cargas; la rotación modifica la verticalidad y amplifica los efectos P-delta; y la traslación diferencial o la expansión lateral puede generar distorsión de entrepisos, torsión y demandas localizadas en columnas, vigas, muros y conexiones. En consecuencia, la ausencia de daño material en la cimentación no descarta que su movimiento haya iniciado o amplificado el daño de la edificación. La evaluación postsísmica debe correlacionar tres niveles de información dentro de un mismo sistema de referencia: la deformación del terreno, los desplazamientos laterales y giros de la fundación y la respuesta residual de la estructura, expresada mediante inclinación, deriva, torsión y fisuración. La compatibilidad espacial y direccional entre estas mediciones, apoyada por un modelo del sistema suelo-cimentación-estructura, permite distinguir la respuesta inercial durante el sismo de los efectos cinemáticos y de la deformación permanente. En edificios con sótanos también deben incorporarse la rigidez del subterráneo, el contacto con el suelo y las presiones laterales sobre los muros, porque estos componentes modifican la transferencia de movimiento entre el terreno y la superestructura.

El autor concluye que las evidencias recopiladas muestran que el comportamiento del suelo influyó en la respuesta estructural mediante mecanismos diferentes en Caracas y La Guaira, pero también que el daño no puede explicarse a partir de una sola variable. En Caracas, la recurrencia espacial del daño en edificaciones de seis a veintiún niveles debe evaluarse junto con la variación del espesor y la rigidez de la cuenca y la posible compatibilidad entre los períodos del suelo y de las estructuras. Esta relación permanece como una hipótesis que debe contrastarse considerando la altura, la antigüedad, el sistema resistente, las irregularidades, las intervenciones y la condición previa de cada edificio. En Catia La Mar, edificaciones de altura comparable presentaron desde daño estructural de grado variable hasta colapso parcial. La licuación en las franjas costeras, las deformaciones localizadas en los bordes de la terraza y los posibles efectos topográficos ofrecen mecanismos complementarios que requieren verificación específica. En Caraballeda, la heterogeneidad horizontal y vertical de los abanicos, el contraste entre sedimentos someros en la zona alta y depósitos profundos saturados en la zona distal, y la presencia de una superficie libre hacia la costa favorecieron patrones de deformación compatibles con licuación y relajación lateral. La respuesta diferenciada del antiguo Hotel Sheraton sugiere además que el sistema de fundación condicionó la transferencia de esas deformaciones: los edificios de hormigón apoyados sobre pilotes tuvieron un desempeño distinto al anexo de acero sin pilotes, aunque la configuración estructural y las intervenciones previas también fueron determinantes. La principal implicación para la evaluación postsísmica es que la integridad resistente de la cimentación no equivale a estabilidad cinemática. Una cimentación sin daño material visible puede asentarse, rotar o trasladarse con el terreno e imponer deformaciones incompatibles con la superestructura. Por ello, las decisiones de ocupación, reparación o recalce deben correlacionar, dentro de un mismo sistema de referencia, la deformación del suelo, el movimiento de la cimentación y la inclinación, deriva, torsión y fisuración del edificio. Esta evaluación debe complementarse con la caracterización dinámica del terreno, la evaluación de información geofísica pertinente para estudiar efectos de interacción dinámica suelo-estructura, el levantamiento del sistema de fundación y un inventario estructural que incluya edad, intervenciones, irregularidades y deterioro previo, incluido el asociado con corrosión.

La evaluación de daños a escala nacional realizada por el Comité Técnico Asesor del Terremoto (López et al., 2026) aporta evidencia adicional sobre la influencia de las condiciones de sitio. Los mayores daños se concentraron en zonas con mayores espesores de sedimentos, como Caraballeda y Altamira-Los Palos Grandes-San Bernardino, pero también en las mesetas de Playa Grande y Mamo, donde los efectos topográficos pudieron amplificar el movimiento. Se observó menos daño en las construcciones ubicadas en la base de las montañas, lo que confirma que las zonas rocosas experimentaron amplitudes menores. En Camurí Chico se documentaron manifestaciones de licuación en estratos confinados, con hundimiento del terreno y agrietamientos compatibles con desplazamiento lateral, lo que refuerza la necesidad de incorporar la caracterización geotécnica detallada en la microzonificación de La Guaira. El trabajo de López et al., documenta además que en las mesetas de Playa Grande y Mamo se registraron daños devastadores que podrían estar asociados a efectos de amplificación topográfica, con desniveles superiores a 50 metros y fuertes pendientes en las direcciones norte-sur y este-oeste.

El Capítulo 6 del informe GEER, titulado **"Características del movimiento del suelo y efectos locales del sitio" (Barba et al., 2026, Cap. 6)**, analiza la influencia de las condiciones locales del sitio en los movimientos sísmicos y en los patrones de daño observados durante los terremotos del 24 de junio de 2026. El capítulo se concentra en la caracterización de las condiciones dinámicas del sitio en las ciudades afectadas (Caracas, La Guaira, Valencia y Maracay) y en el análisis de los factores que modificaron las características del movimiento del suelo.

Los autores parten de una constatación fundamental: en Venezuela se han hecho importantes esfuerzos para caracterizar las condiciones dinámicas del sitio en varias ciudades, incluyendo algunas de las más afectadas por los terremotos de 2026. Existen mapas disponibles sobre la velocidad promedio de las ondas de corte en los 30 m superiores del subsuelo (Vs30), el período fundamental del sitio y la profundidad del sedimento para Caracas, La Guaira, Valencia y Maracay. Esta información es fundamental para comprender la influencia de las condiciones del sitio en los movimientos sísmicos generados por los eventos de 2026 y debe tenerse en cuenta antes de planificar investigaciones adicionales en el sitio destinadas a caracterizar mejor estos terremotos. Existe una brecha importante de información en Catia La Mar y sus alrededores, donde actualmente no se dispone de datos, lo que representa un objetivo prioritario para futuros levantamientos geofísicos.

El capítulo describe las condiciones sísmicas del sitio en las áreas afectadas. Para Caracas, el capítulo se basa en los resultados del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, que implicó la compilación y adquisición de extensos conjuntos de datos para la caracterización de la cuenca sedimentaria en términos del período predominante del sitio, la profundidad hasta el lecho rocoso y Vs30. El mapa de períodos de sitio predominantes, derivado de aproximadamente 2000 mediciones de la razón espectral H/V (HVSR), muestra que en la mayor parte del área metropolitana los períodos predominantes se sitúan en un intervalo de 0,1 a 0,5 s. Sin embargo, en el sector noreste de la ciudad (Los Palos Grandes), los períodos alcanzan valores de hasta ~2,0 s. También se observan períodos elevados de aproximadamente 1,0 s en San Bernardino. El mapa de profundidad hasta el lecho rocoso, construido a partir de una combinación de estudios de refracción sísmica, estimaciones derivadas de HVSR, un modelo gravimétrico, registros de pozos de agua y cuatro pozos de sondeo profundos, muestra que los mayores espesores de sedimentos se encuentran en Los Palos Grandes (aproximadamente 320 m) y San Bernardino (aproximadamente 240 m). El mapa de Vs30, elaborado principalmente a través de correlaciones empíricas con los números de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT) obtenidos en aproximadamente 1000 sitios, muestra una resolución espacial limitada en la variación de Vs30, atribuible en parte a la limitación de utilizar una correlación empírica con SPT (Prueba de Penetración Estándar).

Para La Guaira, el capítulo se basa en investigaciones previas hechas en los abanicos aluviales costeros del estado de La Guaira después del terremoto de Caracas de 1967 y en nuevos datos recogidos después del desastre de Vargas de 1999. Luego del terremoto de Caracas de 1967, se hicieron varias líneas de refracción sísmica (algunas de hasta 1,5 km de longitud) y pozos de sondeo en el abanico de Caraballeda. Estas primeras investigaciones indicaron una profundidad máxima del basamento de aproximadamente 450 m en la parte más profunda del abanico. Los sedimentos consisten predominantemente en materiales de grano grueso que van desde arenas y gravas hasta grandes cantos rodados, procedentes de la meteorización y la erosión del flanco norte de la sierra del Ávila. Los datos adicionales informados por Romero et al. (2006) se centraron en los abanicos aluviales de La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena. Se identificaron tres unidades o grupos sedimentarios cercanos a la superficie: 1) Vs = 215-400 m/s, con profundidades que varían de 2 a 50 m; 2) Vs = 425-570 m/s, con profundidades que varían de 30 a 86 m; 3) Vs = 600-750 m/s. El mapa de Vs30 elaborado por Romero et al. (2006) indica que hacia la costa se pueden encontrar suelos relativamente rígidos con una rigidez de 250-400 m/s, mientras que más cerca del frente montañoso se consiguen valores de 400-500 m/s y localmente >500 m/s. El mapa de períodos de sitio basados en HVSR muestra valores que normalmente oscilan entre 0,9 y 1,8 s, con valores de hasta 2,7 s registrados en las partes más gruesas del abanico de Caraballeda. El mapa de profundidad del basamento resultante indica que los espesores máximos de sedimentos alcanzan aproximadamente 450 m en la costa cercana de Caraballeda, 290 m en Macuto y 180 m en La Guaira. García et al. (2023) ampliaron el trabajo de Romero et al. (2006) mediante la incorporación de información sobre unidades geológicas superficiales en La Guaira, y generaron un mapa de microzonificación preliminar de Caraballeda.

Para Valencia, el capítulo se basa en investigaciones geofísicas hechas en el Área Metropolitana de Valencia con el objetivo principal de caracterizar Vs30. Estas investigaciones correspondían a 64 arreglos de ruido sísmico y se procesaron

principalmente utilizando el método IMASW y, en algunos casos, el método ReMi. Estos resultados se integraron con información topográfica y valores Vs30 inferidos basados en SPT para generar un mapa de Vs30. El mapa muestra que los valores de Vs30 disminuyen, como era de esperar, desde las colinas hacia la parte central de los valles. Gil (2021) amplió el trabajo de Mijares et al. (2021) a una región más amplia mediante la integración de los datos recogidos por Mijares et al. (2021) con otros conjuntos de datos, incluidos datos de elevación digital, pozos de sondeo y SPT. Gil (2021) también ofrece un mapa de profundidad de sedimentos, que utiliza varios conjuntos de datos, incluidos datos de gravimetría y HVSR, y un mapa de microzonificación que ayuda a visualizar los datos integrados. El mapa del período del sitio proporcionado por Schmitz et al. (2015), basado en 530 mediciones de HVSR, muestra valores máximos de 2,8 s en el suroeste.

Para Maracay, el capítulo se basa en un mapa de período del sitio generado a partir de 315 mediciones de HVSR, que muestra valores más altos, de aproximadamente 2,8 s, en la parte sur del área de estudio, que disminuyen hacia el norte. El mapa de Vs30 para Maracay presentado en López (2021) se basa en la integración de varios conjuntos de datos y metodologías, incluidos ReMi, IMASW, SPT y elevación digital.

Los autores analizan las características del movimiento del suelo. La caracterización de los movimientos del suelo generados por los terremotos de San Felipe y Catia La Mar de 2026 se ve limitada por la disponibilidad y la distribución espacial de los registros, particularmente cerca de las zonas de ruptura. Venezuela cuenta con una red sísmica nacional (código FDSN: VE, Federación Internacional de Redes Sismológicas Digitales) operada por FUNVISIS, que consta de 40 estaciones equipadas con sismómetros de banda ancha distribuidas en las zonas de mayor sismicidad del país. Además, FUNVISIS opera una red de registro de movimientos sísmicos fuertes (Red Acelerográfica Nacional, REDAC) que comprende 134 acelerómetros instalados en los principales centros urbanos del país. Aunque no está claro el número de estaciones operativas en ambas redes, hay evidencia de que algunas de estas estaciones (p. ej., CARV, FUNV, BENV) estaban en funcionamiento durante los terremotos de San Felipe y Catia La Mar en junio de 2026. Sin embargo, en el momento de la publicación de este informe, los registros de los movimientos del terreno no estaban disponibles para el público. Los datos de movimientos del terreno provenientes de otras redes sísmicas se recopilaron utilizando los servicios web de FDSN a través del paquete gmprocess del USGS. La consulta identificó 12 estaciones operativas de 6 redes con registros disponibles. Solo una de las estaciones (SDV) se encuentra en Venezuela, siete están en Colombia y las restantes se ubican en varias islas del Caribe (Aruba, Granada y Martinica). La estación más cercana (ACPR) al epicentro de los sismos de magnitud 7.2 y 7.5 se encontraba a 280,4 y 370,4 km, respectivamente.

Los autores presentan las observaciones indirectas del movimiento del suelo. En ausencia de los registros de movimiento fuerte del terreno, las observaciones indirectas, como los mapas de Intensidad de Mercalli Modificada (MMI) o los informes "¿Lo sentiste?" ("Did You Feel it?" o DYFI), son un valioso recurso de datos para describir los efectos de un terremoto y la magnitud de los daños. Para los sismos de magnitud 7.2 y 7.5, se presentaron 813 informes de DYFI. La mayoría de los informes procedían de Chacao (113), el Distrito Capital (49) y Valencia (39) en Venezuela, y de las islas caribeñas más cercanas (8 de Aruba, 20 de Curazao y 12 de Bonaire). Se informó un MMI máximo de IX a lo largo del corredor costero en La Guaira (Catia La Mar, Caraballeda, La Guaira, Morón y Maiquetía). Las zonas de máxima intensidad coinciden con la ruptura predominantemente hacia el este del modelo de falla finita del USGS. Los mapas ShakeMaps del USGS estiman una PGA (aceleración máxima del terreno) de 0.5 g, una PGV (velocidad máxima del terreno) de 50 cm/s, una PSA(T=1s) de 0.5 g y una PSA (aceleración pseudoespectral) (T=3s) de 0.1 g alrededor de la ruptura. Se pronostican valores más altos de la PSA en el municipio Juan José Mora, en Carabobo (cerca del epicentro del evento de magnitud 7.2), con un máximo de 1g y 0.2g en periodos de 1 y 3 s, respectivamente. Se estima un aumento localizado de la PSA(T=3s) en los alrededores de las ciudades de Valencia y Maracay, lo que probablemente indica efectos de cuenca.

Los autores reportan los registros de movimientos del suelo y las mediciones de intensidad correspondientes. Los registros de movimiento del terreno de las estaciones descritas se procesaron utilizando el kit de herramientas gmprocess. De las 12 estaciones, solo una (WI-BIM) se rechazó por recorte. Aunque el USGS clasifica estos eventos como una secuencia doble, el análisis preliminar indicó que las ondas no podían separarse claramente en ninguna de las estaciones seleccionadas. Dada la compleja superposición de los trenes de ondas, se decidió procesar la serie temporal como un registro único de larga duración. El procesamiento de los registros de movimiento del terreno siguió las recomendaciones metodológicas estándar para el procesamiento de registros de movimiento fuerte. Los pasos incluyeron la corrección de la línea basal, la corrección de la respuesta del instrumento, la verificación de la relación señal-ruido, la aplicación de un filtro Butterworth de 5 polos de paso alto y paso bajo acausal en el dominio de la frecuencia y una corrección final de la línea basal mediante la eliminación de la media del ruido previo al evento y la eliminación de la tendencia utilizando un polinomio de sexto orden. Se calcularon medidas de intensidad de movimiento del suelo comúnmente utilizadas (IM), como la aceleración pseudoespectral amortiguada al 5% (PSA) en diferentes períodos, la aceleración máxima del suelo (PGA), la velocidad máxima del suelo (PGV), la duración significativa del 5% al 95% (D5-95), la velocidad absoluta acumulada (CAV) y la intensidad de Arias (IA) para todos los registros procesados. Debido a las grandes distancias epicentrales (Repi ≥ 280 km), los registros de movimiento del suelo procesados presentan una baja intensidad. La PGA horizontal máxima (0.21g) se registró en el componente EW de la estación GRGR en Granada, ubicada en un Repi, M7.5 de 627 km con una inferencia Vs30 de 505 m/s. Las estaciones ACPR en Aruba (Repi, M7.5 = 370 km, Vs30 = 298 m/s) y OCA en Colombia

(Repi, M7.5 = 722,5 km, Vs30 = 466 m/s) registraron PGA similares. Las estaciones más cercanas a los epicentros de los eventos (ACPR, SDV y URI) reportaron IM (PGA, PGV y PSA-3) más bajos que los estimados por los ShakeMaps.

Los autores examinan los factores potenciales que afectan las características del movimiento del suelo. Las características de los movimientos del suelo generados por los terremotos de San Felipe y Catia La Mar de 2026 pueden haber estado influenciadas por varios factores relacionados con la fuente, la trayectoria y el sitio, más allá de la magnitud y la distancia por sí solas. Los autores analizan tres mecanismos particularmente relevantes: los efectos de campo cercano y la directividad, la amplificación inducida por la cuenca y los efectos de propagación de ondas, y la posible modificación de los movimientos del suelo asociados con el desencadenamiento de la licuación.

Sobre los efectos de fallas cercanas en los movimientos del terreno, los autores señalan que, en el entorno cercano a una falla, particularmente cerca de una ruptura caracterizada por directividad hacia adelante, los movimientos del suelo tienen características distintivas y pueden provocar un mayor daño. Los efectos cercanos a la falla incluyen la polarización en direcciones específicas, las distribuciones espaciales del movimiento sísmico del terreno basadas en la dirección de la ruptura de la falla y la dirección del deslizamiento en la falla en relación con el sitio, y características de tipo pulso del movimiento del suelo. La zona cercana a la falla se ha definido ampliamente como el área dentro de una distancia de aproximadamente 20 km de la ruptura. Dada la extensión de la ruptura de la falla asociada con el evento de M7.5 de junio de 2026, la dirección hacia el este de la ruptura y su ubicación en relación con áreas densamente pobladas en La Guaira, se deben examinar los efectos cercanos a la falla como posibles contribuyentes a las características del movimiento del suelo y al desempeño de la infraestructura civil en las áreas más afectadas. Los esfuerzos por caracterizar los movimientos del suelo con forma de pulso se centran en analizar las características del pulso, es decir, su período y amplitud, así como en comprender la probabilidad de experimentar un pulso, según los desarrollos metodológicos disponibles en la literatura. Además, se ha documentado que la respuesta de los depósitos sedimentarios cercanos a la superficie afecta precisamente la amplitud y el período de los pulsos de directividad hacia adelante. El análisis de la intersección entre las condiciones locales del terreno en La Guaira y los efectos cercanos a la falla debería ser un área prioritaria para futuras investigaciones. Según Rodríguez-Marek y Bray (2006), "los sitios con suelo rígido tienden a amplificar la velocidad máxima del terreno y aumentar el período de los movimientos de tipo pulsante, particularmente cuando el período del movimiento de la roca coincide con el período de degradación del sitio". Los mismos autores indican que la amplificación es limitada en lugares con suelos blandos debido a la resistencia dinámica del suelo débil y a la disipación de energía que se produce durante los fuertes movimientos sísmicos. Una mejor comprensión de la variabilidad espacial de los suelos en La Guaira, tanto a escala regional como a escalas más locales, será esencial para desvelar las complejidades de la respuesta sísmica del sitio ante movimientos del terreno de directividad frontal cercanos a la falla. Lamentablemente, en el momento de la finalización de este informe, no se dispone de registros de movimientos sísmicos en La Guaira.

Sobre los efectos de cuenca, los autores documentan que hace casi 60 años, el 29 de julio de 1967, se produjo un terremoto con una magnitud estimada de entre 6.4 y 6.6 a 56 km al norte de Caracas. El terremoto no solo causó más de 200 muertes y daños extensos en la ciudad y en todo el Valle de Caracas, sino que también sirvió como base para las investigaciones sobre cómo la estructura geológica de la cuenca influye en la propagación de ondas sísmicas y la amplificación del movimiento del suelo dentro del Valle de Caracas en los años posteriores. Los primeros estudios examinaron la propagación y amplificación de las ondas sísmicas del terremoto de 1967 en el Valle de Caracas, utilizando modelos 2D lateralmente finitos con estructura geológica variable en lugar de modelos simples estratificados verticalmente (1D). Estos estudios describieron el distrito de Palos Grandes mediante una sección transversal norte-sur en 2D y demostraron las limitaciones del enfoque 1D tanto para incidencia no vertical como para incidencia vertical con interfaz roca-sedimento curva, con máximos mayores en las relaciones de amplificación que los predichos por los modelos de respuesta del sitio 1D. Además, se descubrió que el borde norte del valle, con una pendiente pronunciada, genera ondas superficiales más fuertes a través de reflexiones, y que los efectos 2D son más pronunciados para las ondas P y SV que se propagan horizontalmente e inciden en o cerca del ángulo crítico, lo que proporciona un marco para comprender cómo la geometría del valle 2D y la incidencia de las ondas pueden influir en la amplificación sísmica en Palos Grandes, Caracas.

Las investigaciones posteriores combinaron las limitaciones observacionales con modelos numéricos cada vez más sofisticados para caracterizar la variabilidad espacial y la naturaleza multidimensional de la respuesta del Valle de Caracas. Se utilizaron mediciones de micrometrblores para investigar los efectos del sitio en Caracas, proporcionando evidencia observacional de una respuesta sísmica espacialmente variable dentro del valle. Se simularon numéricamente los efectos de amplificación considerando una cuenca 2D para la propagación de ondas SH planas en la región de Palos Grandes, mediante el método de elementos de contorno en el dominio de la frecuencia; utilizando una capa aluvial homogénea sobre el lecho rocoso elástico, se encontró una buena concordancia entre las simulaciones y las mediciones de micrometrblores, y se destacó la influencia de la amortiguación de la cuenca, el módulo de corte y la incidencia en las amplificaciones del sitio. Se examinó además la interacción entre las ondas superficiales y los límites en los modelos 2D para Caracas, y se redujo la contaminación de reflexiones espurias al incorporar una frecuencia de corte y una sobreamortiguación en los límites absorbentes, lo que puso de relieve la importancia de tener en cuenta las interacciones entre las ondas superficiales y los límites al modelar la respuesta sísmica a escala de cuenca. Avanzando desde descripciones simplificadas en 1D y 2D hacia modelos numéricos que tienen en cuenta explícitamente la geometría 3D del Valle de Caracas,

se desarrollaron simulaciones de elementos espectrales 3D del valle y se investigó la influencia de su estructura 3D en la propagación de ondas sísmicas, mostrando que la compleja geometría de la cuenca contribuye a variaciones espaciales en la respuesta sísmica simulada. Se consideraron también los efectos del sitio 1D, 2D y 3D en los espectros de respuesta sísmica para las microzonas de Caracas, enfatizando la distinción entre la amplificación asociada con la columna sedimentaria local y los efectos adicionales que surgen de la estructura lateral y 3D de la cuenca.

En conjunto, estos estudios indican que la respuesta sísmica del Valle de Caracas implica no solo la amplificación asociada con la estructura sedimentaria vertical, sino también efectos a escala de cuenca derivados de la geometría lateral, la propagación de ondas superficiales y la estructura tridimensional de la cuenca.

Sobre los efectos de la licuación en el movimiento del suelo, los autores señalan que es probable que muchas de las áreas afectadas en La Guaira alberguen suelos licuables debido a su proximidad a la costa (con probables niveles freáticos altos y la presencia de depósitos de suelo mayoritariamente granulares) y la evidencia de activación de la licuación a través de múltiples manifestaciones superficiales. En este caso, observamos que, dentro de los depósitos licuables, la generación de una presión de poros positiva en exceso degrada la rigidez del suelo debido a la reducción de la tensión efectiva (además del comportamiento no lineal dependiente de la deformación). Por lo tanto, cuando se desencadena la licuación, la amplitud y el contenido de frecuencia del movimiento del terreno resultante en la superficie del suelo pueden cambiar significativamente. Por ejemplo, los componentes de alta frecuencia de un movimiento de la roca madre pueden no transmitirse a la superficie del suelo, según se documenta en la literatura geotécnica reciente. En el momento de la publicación de este informe, los autores no disponían de registros de movimientos del terreno para investigar los posibles efectos desencadenantes de la licuación en la intensidad del movimiento sísmico en los sitios de La Guaira. Sin embargo, estos efectos deben tenerse en cuenta en futuras investigaciones porque las amplitudes de aceleración bajas a bajas frecuencias (resultantes de los efectos desencadenantes de la licuación en los movimientos del terreno) aún pueden producir grandes desplazamientos, lo que puede ser perjudicial para el rendimiento de las estructuras enterradas y las estructuras apoyadas sobre cimientos profundos que se extienden a través de los depósitos licuables (Kramer y Stewart, 2025).

El capítulo contrasta los movimientos sísmicos observados con los modelos de movimiento sísmico. Los valores registrados de PGA, PGV y PSA en períodos (T) de 0,1, 0 y 3,0 s se compararon con cuatro modelos de movimiento del suelo (GMM) de NGA-WEST2 (Next Generation Attenuation-West2), identificados por sus siglas convencionales (BSSA14, CB14, ASK14 y CY14). Debido a que los registros disponibles de movimientos del suelo cerca de la fuente eran limitadas, incorporamos 59 valores de intensidad macrosísmica (Intensidad de Mercalli modificada, MMI) reportados por el USGS con base en los informes DYFI. Los valores MMI corresponden a promedios de las respuestas individuales de DYFI dentro de un bloque geodificado de 10 km. Los MMI se convirtieron a PGA, PGV y PSA utilizando una ecuación de conversión de intensidad de movimiento del suelo (GMICE). Siguiendo la implementación de ShakeMap del USGS, la distancia y la magnitud se recortaron a un rango de 10 a 300 km y MW de 3,0 a 7,3 para que coincidieran con los datos empíricos válidos y para evitar la extrapolación. La mayoría de los datos de DYFI se situaron dentro del rango del percentil 16 al 84 (mediana ± una desviación estándar), excepto la PGA a distancias cortas (Rrup ≤ 10 km) para los modelos CB14, ASK16 y CY14. Las observaciones de las dos únicas estaciones de medición de movimientos del suelo (PR-ACPR e IU-SDV) dentro del rango de aplicabilidad de los modelos cayeron por debajo del percentil 16 esperado de los cuatro modelos de movimiento del suelo, lo que sugiere una sobreestimación a largas distancias.

El capítulo evalúa la influencia de los efectos del sitio en los patrones de movimiento del terreno y daños. Para evaluar los efectos de las condiciones del sitio en Caracas durante los terremotos de 2026, el capítulo creó una base de datos de edificios dañados utilizando datos de colaboración ciudadana e imágenes satelitales. Los datos originales fueron obtenidos el 14 de julio de una plataforma digital de mapeo de crisis colaborativa desplegada para rastrear daños, colapsos estructurales, personas desaparecidas y puntos de coordinación de ayuda tras los terremotos de San Felipe y Catia La Mar. El conjunto de datos se filtró inicialmente por entidad federal y categoría de daños, lo que restringió el análisis a las entradas reportadas como "graves" y de "colapso total" en el Distrito Capital y Miranda. Posteriormente, cada entrada se verificó manualmente para eliminar duplicados y corregir cualquier coordenada geográfica errónea utilizando plataformas de cartografía digital (Google Maps, Google Earth, OpenStreetMap). Durante esta etapa, validaron sistemáticamente las clasificaciones de daños generadas por la comunidad utilizando una combinación de imágenes enviadas a la plataforma, informes periodísticos y datos de redes sociales. Muchas estructuras que sufrieron graves daños estructurales y arquitectónicos fueron clasificadas erróneamente como "colapso total". Para este análisis, las estructuras se reclasificaron como "colapsadas" solo si presentaban una falla estructural completa o parcial de los elementos portantes, lo que provocaba que la estructura se cayera o perdiera estabilidad global según la definición de colapso adoptada por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. La base de datos final consta de 420 entradas, de las cuales 11 edificios están clasificados como derrumbados. Las alturas de los edificios (H) se estimaron utilizando el conjunto de datos temporales Open Buildings 2.5D, que emplea un modelo de aprendizaje profundo de Google Research para detectar la presencia de edificios por pixel, recuentos fraccionarios y altura a partir de imágenes de Copernicus Sentinel-2. Este conjunto de datos, que abarca el período 2016-2023, proporciona información sobre África, el sur de Asia, el sudeste asiático, América Latina y el Caribe, con una resolución espacial de aproximadamente 4

m y un error absoluto medio de 1.5 m para la altura de los edificios. Aunque el modelo solo se ha validado con conjuntos de datos de Norteamérica, Europa y Japón, verificaron su aplicabilidad a Caracas comparando los resultados del modelo con datos fotográficos de 126 edificios. Este análisis indicó una altura media de planta de 3.1 m (con el 95% de las observaciones entre 2.4 y 4 m), lo que proporciona confianza en el rendimiento del modelo en la región de estudio. La distribución espacial de los edificios dañados muestra una clara concentración en la parte occidental de la cuenca sedimentaria de Caracas, con una dispersión más amplia en todo ese sector. En la zona este de la ciudad, los daños se concentran principalmente alrededor de Los Palos Grandes. Todos los edificios derrumbados se encuentran dentro o inmediatamente adyacentes al área de San Bernardino (oeste) o al área de Los Palos Grandes (este); las dos zonas que contienen los mayores espesores de sedimento. El edificio derrumbado más alto (Edificio Petunia, con una altura de entre 30 y 45 m) está situado en la zona de Los Palos Grandes, donde el espesor de los sedimentos alcanza aproximadamente los 240 m. Según el mapa de período fundamental de sitio de Caracas, esta zona se caracteriza por períodos predominantes de 1.0 a 1.5 s, que coinciden con el período fundamental esperado de esta estructura, estimado a partir de aproximaciones de período estructural comúnmente utilizadas, como T~N/10, donde N es el número de pisos. En la misma zona se encuentran otros dos edificios derrumbados (Edificio Bancaribe y Edificio Obelisco), con una altura que oscila entre los 10 y los 30 metros. Por otro lado, todos los edificios derrumbados en el área de San Bernardino tienen una altura comprendida entre los 10 y los 30 metros. El mismo mapa de período de sitio indica períodos fundamentales de 0.5 a 1.0 s en esta zona, lo que coincide con los períodos estructurales esperados de los edificios derrumbados. La mayoría de los edificios derrumbados (8 de 11) se encontraban dentro de las microzonas 5 y 6. Este sigue siendo un análisis preliminar y no permite extraer conclusiones definitivas sobre la contribución relativa de los efectos locales del sitio. Una evaluación más definitiva requeriría un control explícito de otras variables, como la antigüedad del edificio, la calidad de la construcción, el cumplimiento de las disposiciones de diseño sísmico y la influencia de los efectos de la fuente y la trayectoria en las características del movimiento del suelo. Sin embargo, la correspondencia espacial observada entre la altura del edificio, el espesor del sedimento y el período del sitio sugiere que los efectos de resonancia pueden haber jugado un papel, análogo a los patrones documentados para el terremoto de Caracas de 1967. Además de las estructuras derrumbadas, un número relativamente grande de edificios dañados que no se han derrumbado se encuentran cerca de los bordes de la cuenca, particularmente en la parte occidental del valle. Esta observación plantea la posibilidad de contribuciones adicionales de los efectos de borde de cuenca y justifica una investigación más profunda.

El comportamiento del suelo analizado en el apartado anterior no se limita a la respuesta inducida por las ondas sísmicas: el evento del 24 de junio de 2026 también produjo deformaciones permanentes del terreno, manifestaciones de licuación, desplazamientos laterales y deslizamientos de tierra. La evidencia recopilada documenta estos fenómenos con distinto grado de certidumbre y con una marcada heterogeneidad espacial, coherente con los controles geomorfológicos y tectónicos de la región. Su caracterización es indispensable para comprender por qué los daños fueron tan heterogéneos y por qué la reconstrucción requiere un conocimiento profundo de las condiciones geotécnicas locales.

3.4. Aspectos geotécnicos

El comportamiento geotécnico del terreno durante el evento del 24 de junio de 2026 abarca la deformación del terreno, la licuación, el desplazamiento lateral y la estabilidad de taludes. El evento puso a prueba la respuesta del terreno en una amplia zona del centro-norte de Venezuela, y las evidencias recopiladas documentan una marcada heterogeneidad espacial en los patrones de deformación, coherente con los controles geomorfológicos y tectónicos de la región. Los deslizamientos de tierra se concentraron a lo largo de la escarpada ladera de la montaña, por encima de las zonas urbanizadas; los elementos relacionados con la licuación se distribuyeron predominantemente a lo largo de los conos de abanico, las crestas de playa, los rellenos costeros y los depósitos de desembocaduras de ríos; y las características de ruptura del terreno se ubicaron principalmente a lo largo o inmediatamente adyacentes a rupturas de fallas conocidas o inferidas, incluida la falla de Bruscas.

La caracterización de estos fenómenos es esencial para comprender por qué los daños fueron tan heterogéneos y por qué la reconstrucción requiere un conocimiento profundo de las condiciones geotécnicas locales. La licuación y el desplazamiento lateral, en particular, afectaron a las edificaciones y la infraestructura en las zonas costeras bajas y en los abanicos aluviales, mientras que la estabilidad de taludes y los peligros compuestos plantearon riesgos adicionales en las laderas y en las vías de comunicación. El inventario geoespacial de deformaciones del terreno, elaborado mediante percepción remota y verificado en campo cuando fue posible, constituye un aporte metodológico de primer orden para la gestión integral del riesgo geotécnico en la región.

3.4.1. Deformación del terreno y ruptura de superficie

El Capítulo 7 del informe GEER, titulado **"Evidencia remota de deformación del terreno" (Varela, 2026, Cap. 7)**, documenta la deformación del terreno inducida por los terremotos del 24 de junio de 2026 mediante la identificación, cartografía y clasificación de las deformaciones del terreno a partir del análisis de imágenes aéreas y satelitales previas y posteriores al evento.

Tras los terremotos de junio de 2026, se han registrado deformaciones del terreno provocadas por el sismo en varias regiones del norte de Venezuela, incluyendo grietas, licuación, deslizamientos de tierra y daños a la infraestructura. Sin embargo, la mayor concentración de impactos reportados se produjo dentro del Área Metropolitana de Caracas y el estado vecino de La Guaira (anteriormente Vargas), donde la densidad de población, la exposición de la infraestructura y la gravedad de los efectos observados en el suelo fueron mayores. En

consecuencia, la labor de reconocimiento remoto se centró en estas áreas, definiendo un área de interés que abarcaba las zonas más afectadas de Caracas y La Guaira. Este enfoque específico permitió realizar una revisión sistemática de las imágenes aéreas y satelitales posteriores al terremoto para identificar, cartografiar y clasificar los posibles rasgos de deformaciones del terreno inducidas por el sismo y respaldar las actividades posteriores de verificación sobre el terreno.

La autora describe la metodología de evaluación geomorfológica remota. Se realizó una evaluación geomorfológica remota utilizando imágenes aéreas previas y posteriores al terremoto para identificar las características de deformación del terreno atribuibles a los terremotos de junio de 2026. El análisis consistió en comparaciones visuales sistemáticas entre imágenes previas y posteriores al evento para identificar cambios geomorfológicos que estaban ausentes en las condiciones previas al terremoto.

El inventario de deformaciones del terreno se organizó en un inventario geoespacial con los siguientes criterios de clasificación. En la categoría de ruptura del suelo se distinguen las fracturas y las fallas. Las fracturas son grietas en el suelo que no presentan desplazamiento visible ni evidencia de procesos relacionados con la licuación. Las fallas son grietas en el terreno que muestran un desplazamiento vertical u horizontal observable, indicativo de una ruptura de falla superficial. En la categoría de licuación se distinguen tres tipos de manifestaciones. Los volcanes de arena son depósitos de arena circulares o irregulares, montículos o eyecciones comúnmente asociados con la liberación de sedimentos licuados, a menudo acompañados de evidencia de filtración. Las grietas del terreno asociadas con indicadores de licuación presentan filtraciones, eyecciones o emanaciones de arena, sin evidencia visible de desplazamiento lateral del terreno. Los asentamientos son áreas que presentan asentamiento diferencial o descenso localizado de la superficie del terreno atribuible a la pérdida de resistencia del suelo inducida por la licuación. En la categoría de deslizamientos de tierra, se distinguen los deslizamientos traslacionales (movimientos de masas poco profundos que se identifican comúnmente por áreas alargadas alteradas y afloramientos de suelo fresco en pendientes que anteriormente estaban cubiertas de vegetación; cuando se produjo un movimiento dentro de un deslizamiento de tierra preexistente, el inventario registra la geoforma como una reactivación), los deslizamientos rotacionales (deslizamientos que presentan características propias, como un escarpe de cabecera, un abultamiento al pie del deslizamiento, grietas de tensión, vegetación desplazada u otras evidencias de movimientos más profundos que se distinguen de los deslizamientos traslacionales superficiales), los desprendimientos de rocas (desprendimiento de material rocoso, que se identifica por cicatrices recientes o roca expuesta en pendientes pronunciadas o acantilados, acumulaciones de fragmentos de roca en la base de la pendiente y la consiguiente alteración de la vegetación) y los desprendimientos laterales del terreno inducidos por la licuación (caracterizados por grietas paralelas en el terreno y rasgos de extensión).

La autora explica que la clasificación de la deformación del terreno asignada a cada elemento cartografiado se basó principalmente en la interpretación de imágenes posteriores al terremoto y, cuando fue posible, se corroboró mediante observaciones recopiladas por el equipo de reconocimiento de campo. Los conjuntos de datos de imágenes aéreas utilizados en esta evaluación procedían de Vantor, Planet y Sentinel, y las superficies fotogramétricas 3D obtenidas con drones de SIGIS Venezuela y Drone Pixel. En los capítulos siguientes se ofrecen análisis más detallados de las evaluaciones realizadas para cada riesgo geológico (por ejemplo, ruptura de fallas superficiales, licuación, deslizamientos de tierra).

La autora precisa que, además del tipo de deformación, a cada elemento cartografiado se le asignó un índice de confianza para documentar el nivel de certeza del analista con respecto a la interpretación. Los índices de confianza reflejan la calidad y la fecha de las imágenes disponibles, la singularidad de los indicadores geomorfológicos, la certeza de que el elemento esté relacionado con los terremotos y la capacidad del analista para delimitar el perímetro de dicho elemento. Entre las fuentes de incertidumbre pueden figurar la nubosidad, la resolución de la imagen, los artefactos de ortorrectificación, las distorsiones topográficas en terrenos escarpados y las limitaciones en la disponibilidad de imágenes recientes anteriores al terremoto. La clasificación de confianza proporciona una medida cualitativa de la incertidumbre y ayuda a los usuarios del inventario a interpretar la confiabilidad de las observaciones individuales. Se utilizaron las siguientes categorías de confianza: "Probable" (un rasgo que presenta características que son altamente consistentes con deslizamientos de tierra, licuación o deformación por ruptura del suelo; el analista tiene un alto grado de confianza en la identificación de la característica, su asociación con el terremoto y la delimitación de sus límites; estas características son claramente distinguibles en las imágenes, se ven mínimamente afectadas por artefactos o distorsiones en la imagen y tienen pocas explicaciones alternativas plausibles); "Posible" (un rasgo que muestra características consistentes con la deformación del terreno inducida por un terremoto y que se considera que es más probable que esté relacionado con el terremoto que no; sin embargo, uno o más factores, como la nubosidad, la calidad de la imagen o la incertidumbre con respecto al alineamiento de los elementos, reducen la confianza del analista en comparación con una clasificación de "Probable"); y "Cuestionable" (una característica cuya interpretación es incierta porque la expresión geomorfológica observada puede tener explicaciones alternativas no relacionadas con el terremoto, porque los artefactos de la imagen o la nubosidad impiden una interpretación fiable, o porque las imágenes previas al terremoto más recientes disponibles son anteriores al 2026 y no permiten definir un corto rango de tiempo para asociar el elemento con los terremotos; las características clasificadas de esta manera pueden representar deformaciones provocadas por terremotos; sin embargo, las imágenes disponibles son insuficientes para establecer con certeza su origen, mecanismo de deformación o fecha de ocurrencia).

La autora reconoce las limitaciones de las interpretaciones derivadas de la evaluación de imágenes remotas. La evaluación

depende de la calidad, la resolución espacial, la geometría de visualización y la nubosidad de las imágenes disponibles. Por consiguiente, el inventario no debe considerarse una representación completa de toda la deformación del terreno provocada por el terremoto, y es posible que algunas características no se hayan detectado (falsos negativos). Los errores de ortorrectificación y las distorsiones de imagen, comunes en terrenos escarpados, pueden afectar la precisión posicional y la interpretación de los elementos cartografiados. El inventario se elaboró principalmente utilizando las imágenes de mayor resolución disponibles. En las zonas donde la nubosidad ocultaba la superficie del suelo, se utilizaron imágenes de menor resolución para complementar la evaluación, lo que pudo haber reducido la capacidad de identificar rasgos de deformaciones a menor escala. Debido a que no se disponía de imágenes obtenidas inmediatamente antes del terremoto para todas las ubicaciones, algunas características cartografiadas pueden haber existido antes del evento y no ser directamente atribuibles a la deformación del terreno relacionada con el terremoto. En consecuencia, el inventario puede contener falsos positivos en los que características geomorfológicas preexistentes, grietas en el suelo, deslizamientos de tierra u otras perturbaciones se interpretaron como características inducidas por terremotos basándose en las imágenes disponibles. Para tener en cuenta las diferentes fuentes de incertidumbre, las características identificadas en áreas donde las imágenes previas al terremoto más recientes eran anteriores a 2026 se designaron como cuestionables, lo que indica que no se podía determinar con certeza el momento de la formación de dichas geoformas y que no se podía confirmar un origen relacionado con el terremoto únicamente a partir de las imágenes disponibles o la expresión geomorfológica. Las clasificaciones de los rasgos se basaron en la interpretación visual remota y, salvo en los casos en que se dispuso de verificación sobre el terreno, siguen siendo de carácter interpretativo. A medida que se disponga de observaciones de campo adicionales o imágenes de mayor resolución, las características y clasificaciones cartografiadas podrán revisarse. Este inventario representa una interpretación preliminar de los impactos geomorfológicos inducidos por el terremoto, basada en los conjuntos de datos de imágenes disponibles en el momento de la evaluación.

La autora caracteriza la partición geomorfológica de la deformación del terreno. Los resultados del inventario revelan una clara separación geomorfológica entre los procesos de falla del terreno cartografiados. Los deslizamientos de tierra se concentran a lo largo de la escarpada ladera de la montaña, por encima de las zonas urbanizadas, mientras que los elementos relacionados con la licuación se distribuyen predominantemente a lo largo de los conos de abanico, las crestas de playa, los rellenos costeros y los depósitos de desembocaduras de ríos a lo largo de la llanura costera. Las características de ruptura del terreno se ubican principalmente a lo largo o inmediatamente adyacentes a rupturas de fallas conocidas o inferidas, identificadas a partir de conjuntos de datos geológicos y geodésicos, incluida la falla de Bruscas. La limitada superposición espacial entre estas clases de características es coherente con sus controles geomorfológicos y tectónicos previstos, lo que proporciona una línea de evidencia indirecta que respalda las interpretaciones de la teledetección.

El Capítulo 8 del informe GEER, titulado **"Ruptura de la superficie del terreno a lo largo de la falla" (Varela et al., 2026, Cap. 8)**, documenta la ruptura de la superficie del terreno asociada al evento del 24 de junio de 2026. El capítulo se adentra específicamente en la ruptura de la superficie a lo largo de la falla, con un enfoque en los desplazamientos cosísmicos medidos mediante percepción remota (InSAR, GNSS, correlación de imágenes ópticas) y en la evidencia de ruptura superficial verificada en campo.

Los autores describen los desplazamientos regionales mediante percepción remota. La ruptura de la superficie terrestre asociada a los terremotos de Venezuela de 2026 se evaluó utilizando productos de desplazamiento regionales y locales derivados de análisis de teledetección antes y después del 24 de junio de 2026. Los productos regionales de desplazamiento en línea de visión publicados por la Agencia Espacial Europea (ESA) y la NASA muestran un patrón consistente de movimiento dextral relativo de la Placa del Caribe con respecto a la Placa Sudamericana. El patrón de desplazamiento es ampliamente consistente con el movimiento lateral dextral a lo largo de las zonas de falla de Boconó y San Sebastián, como también se representa en el modelo de falla finita del USGS y los contornos de aceleración máxima del suelo (PGA). Un estudio geodésico preliminar presenta una caracterización del desplazamiento de la superficie asociado a los terremotos, utilizando pares interferométricos de Sentinel-1 y observaciones de la estación GNSS CCS1 ubicada en la Universidad Central de Venezuela, en Caracas. El estudio también reporta una deformación cosísmica predominantemente hacia el oeste, incluido un movimiento regional hacia el oeste de aproximadamente 48,2 cm, y señala que los resultados son preliminares y requieren una mayor validación. La solución de falla finita del USGS para el sismo principal de magnitud 7.5 indica una ruptura del orden de 230 km por 40 km que se propaga hacia el este a lo largo del sistema de fallas de San Sebastián hacia La Guaira. Por lo tanto, los segmentos de ruptura orientales pasan cerca del corredor costero de La Guaira, y la distancia epicentral sobreestima sustancialmente una corta distancia entre la fuente y el sitio. El corredor de La Guaira debe ser tratado como un sitio cercano a la fuente de una gran ruptura de deslizamiento horizontal, con la posibilidad de directividad y movimientos tipo pulso, en vez de un sitio de campo lejano. La larga duración efectiva del doblete (el segundo evento llega 30 s después del primero, antes de que el primero se haya desvanecido) y la amplificación dentro de la cuenca sedimentaria de 180 a 450 m de profundidad, con períodos de sitio de 0.9 a 1.8 s, contribuyen a las características de la demanda cercana a la fuente.

Los autores reportan la evidencia local de ruptura de la superficie del suelo. El desplazamiento cosísmico reportado por SIGGMA (2026) en la estación GNSS CCS1 en Caracas es de 46,3 cm hacia el oeste, 0,7 cm hacia el sur y 3 cm hacia arriba. También realizaron evaluaciones de desplazamiento cosísmico horizontal y vertical en diferentes puntos de interés,

centrándose en carreteras, puentes, puertos, entre otros. La ruptura superficial verificada sobre el terreno por miembros del equipo de campo de GEER que visitaron el aeropuerto de Maiquetía es la única ruptura superficial confirmada en el terreno. Los equipos no han detectado otras rupturas superficiales en el terreno. Los campos de desplazamiento adicionales publicados a través del catálogo ScienceBase del USGS proporcionan modelos más detallados para las zonas costeras donde se concentraron los daños. Estos productos, derivados de la correlación de subpíxeles de imágenes ópticas de Vantor, descomponen el desplazamiento de la superficie en componentes norte-sur y este-oeste para áreas seleccionadas a lo largo de la costa. En todas las áreas evaluadas, la componente este-oeste parece más pronunciada que la componente norte-sur, lo cual concuerda con el desplazamiento predominantemente lateral que se espera del movimiento de falla de deslizamiento horizontal de este sistema de fallas. Este patrón es especialmente evidente en Catia La Mar, el aeropuerto de Maiquetía y Caraballeda. El marcado contraste de la transición entre el desplazamiento este-oeste azul y rojo que se observa en los conjuntos de datos de Catia La Mar y del aeropuerto de Maiquetía indica que es probable que la falla sea relativamente superficial en esta área. Estos productos geodésicos y de teledetección indican un desplazamiento cosísmico del orden de decenas de centímetros en la región Caracas-La Guaira, incluyendo hasta aproximadamente 60 cm de desplazamiento superficial hacia el oeste según el InSAR NISAR de la NASA cerca del aeropuerto de Maiquetía, aproximadamente 30 cm de desplazamiento en la línea de visión de Sentinel-1 reportado por la ESA, y aproximadamente 48 cm de desplazamiento hacia el oeste en Caracas con un levantamiento de 3 a 5 cm según una evaluación preliminar GNSS-DInSAR (GNSS e Interferometría Diferencial de radar de apertura sintética); estos valores deben tratarse como preliminares y distinguirse del deslizamiento de falla finita modelado, para el cual EERI VERT reporta un deslizamiento máximo de 2,0 m basado en el producto de falla finita del USGS.

Los autores presentan el inventario de características de deformación del terreno. Como parte del inventario de deformaciones del terreno, el equipo remoto de GEER identificó veintiún características de deformación del terreno, lineales o semilineales (fallas o fracturas), que pueden o no estar asociadas con la ruptura cosísmica de la superficie terrestre. Estas características se catalogaron como cuestionables porque no se han verificado completamente mediante observaciones de campo, o porque la información de campo disponible no se puede divulgar abiertamente, particularmente en áreas con alta sensibilidad de seguridad como el aeropuerto de Maiquetía. Sin embargo, la deformación cartografiada cerca de este aeropuerto es notable porque la falla de Bruscas ya había sido documentada cruzando cerca del área de la pista del aeropuerto (Weisbord, 1957). La proximidad espacial de estas características al trazado de la falla de Bruscas, su proximidad a los cambios de desplazamiento superficial del USGS entre rojo y azul, junto con la orientación aparente de la deformación paralela a la alineación de la falla, sugieren que estas características cartografiadas podrían estar relacionadas con el desplazamiento de la falla. Esta interpretación debe considerarse preliminar hasta que pueda ser confirmada mediante observaciones de campo por un geólogo cualificado y conciliada con las observaciones terrestres específicas del lugar.

Los autores aportan la evidencia fotográfica de las fracturas en el aeropuerto de Maiquetía. Las fracturas observadas en la calzada al oeste de la pista del aeropuerto discurren paralelas a la falla de Bruscas y muy cerca de ella. El equipo de campo de GEER observó una grieta longitudinal que se extiende aproximadamente paralela a la alineación de la pista y estimó que tenía metros de profundidad en lugar de decenas de centímetros, y que se propaga más allá del pavimento hacia el terreno adyacente sin pavimentar. La continuidad a esa escala, y sobre todo la profundidad de las grietas, son difíciles de conciliar con las fisuras de licuación a escala decimétrica documentadas en otros lugares a lo largo del corredor de La Guaira, y apuntan en cambio a una deformación del terreno subyacente controlada estructural o tectónicamente, posiblemente agravada por el ablandamiento cíclico del relleno y los depósitos costeros. Las fracturas visibles en la pista, con filtraciones aparentes, sugieren la posible presencia de un nivel freático poco profundo en este lugar. En Caraballeda, se documentaron patrones lineales de fracturas a lo largo de longitudes de aproximadamente 350 m, con la mayor parte de la deformación concentrada en una franja de 10 metros de ancho. También se observaron filtraciones y emanaciones de arena. Aunque estas características pueden estar asociadas con expansión lateral, la alineación de las fracturas se encuentra muy cerca de la traza de desplazamiento lateral del USGS. En otros sectores de Caraballeda se documentaron conjuntos de 8 a 10 grietas paralelas posiblemente asociadas con la ruptura cosísmica del terreno según su proximidad a la traza de falla de desplazamiento mapeada por el USGS y su patrón de deformación distintivo. Sin embargo, al finalizar este informe no se pudieron descartar las fracturas del terreno relacionadas con la licuación.

Los autores formulan recomendaciones para futuros estudios. Las imágenes aéreas posteriores al terremoto resultaron útiles para identificar rasgos de concentraciones de deformaciones lineales del terreno que pudieran estar asociadas con la ruptura cosísmica del terreno, especialmente en áreas con acceso limitado o restringido. Si bien el reconocimiento remoto no es adecuado para determinar desplazamientos de fallas detallados a escala centimétrica o menor, ofrece una herramienta de selección eficaz para priorizar áreas para la evaluación de campo, particularmente donde la deformación cartografiada se alinea con trazas de fallas conocidas o inferidas, gradientes geodésicos de desplazamiento u otra evidencia independiente de ruptura. Las futuras labores de reconocimiento deberían incluir la verificación en el terreno por parte de geólogos calificados para evaluar si las grietas o desplazamientos observados reflejan una ruptura tectónica, medir el desplazamiento cuando sea posible y caracterizar el mecanismo de falla. Los equipos de campo deben documentar la geometría de la ruptura, su orientación, el sentido y la magnitud del desplazamiento, la continuidad, la expresión geomorfológica y las relaciones de intersección con carreteras,

estructuras, elementos de drenaje u otros marcadores. Los levantamientos geofísicos superficiales específicos también pueden ayudar a precisar la ubicación de las presuntas deformaciones relacionadas con fallas cuando la evidencia superficial está oculta, pavimentada, alterada o inaccesible. Debido a que estos métodos capturan imágenes de contrastes indirectos del subsuelo en lugar de la ruptura de la falla en sí, sus resultados deben tratarse como evidencia complementaria e interpretarse junto con el mapeo de campo, los indicadores geomorfológicos, los marcadores desplazados y los productos de desplazamiento geodésico antes de atribuir un rasgo a una ruptura superficial cosísmica.

La convergencia de estos hallazgos con la identificación de la falla de Bruscas realizada por Audemard (2026), con la caracterización geológica del aeropuerto de Maiquetía realizada por García (2026) y Carrillo (2026, Cap. 4), y con la evidencia de deformación del terreno documentada por Varela (2026, Cap. 7) consolida la falla de Bruscas como una estructura de interés en la caracterización del evento. El corredor de La Guaira debe ser tratado como un sitio cercano a la fuente de una gran ruptura de deslizamiento horizontal, con la posibilidad de directividad y movimientos tipo pulso.

3.4.2. Licuación y deformación permanente del terreno

El Capítulo 9 del informe GEER, titulado **"Licuación" (Montalva et al., 2026, Cap. 9)**, documenta la licuación y las fallas del terreno inducidas por la licuación durante los terremotos del 24 de junio de 2026. La licuación es el fenómeno por el cual los suelos granulares saturados pierden resistencia y rigidez durante un sismo, por efectos de incremento de la presión de poros, comportándose como un líquido.

El capítulo organiza la información en cuatro flujos. El primero es la documentación de campo recopilada entre el 10 y el 19 de julio de 2026 por colegas venezolanos y equipos de colaboración en labores de reconocimiento. La mayoría de las fotografías incluyen una marca de tiempo y posición GPS. Varios sitios incluyen mediciones con cinta del ancho, el desplazamiento y el asentamiento de las grietas. El segundo es la interpretación sistemática de imágenes ópticas de alta resolución posteriores al evento, que produjo un inventario georreferenciado de 68 polígonos a lo largo del corredor costero de La Guaira, relacionados con la licuación. El tercero es el informe preliminar de reconocimiento virtual de una red colaborativa internacional y su repositorio multimedia anotado y georreferenciado, junto con los productos ShakeMap y de fallas finitas del USGS. El cuarto son las fotografías y vídeos que circularon en redes sociales y fueron compartidos a través de la red E2SCALA y la Sociedad Venezolana de Geotecnia, geolocalizados en imágenes de Google Earth previas al evento; esto incluye vídeos de grandes fisuras en el terreno en la zona epicentral del municipio de Veroes, Yaracuy.

Los registros históricos registran la licuación sísmica del suelo en el norte de Venezuela durante varios terremotos importantes, incluidos los eventos del 26 de marzo de 1812, 12 de abril de 1878, 29 de octubre de 1900, 29 de julio de 1967 y la secuencia de abril-mayo de 1989. El capítulo recoge la evidencia histórica de licuación en las regiones afectadas, incluyendo los eventos de 1812 (La Guaira/Vargas, El Paraíso, Choroní, Barbacoas, La Victoria), 1878 (Cerca del río Cua, Macuto, Caraballeda, Camurí Grande, Los Caracas, La Sabana, Chuspa, Paparo, tramo ferroviario entre Carenero y Río Chico, Capaya, San Jacinto, cerca del río Neverí), 1967 (Playa Caraballeda, Güigüe) y la secuencia de 1989 (Tocuyo, Boca de Mangle, Chichiriviche). Este análisis histórico es un aporte principal porque demuestra que la licuación es un fenómeno recurrente en la región.

Los autores describen el contexto geológico y geomorfológico de las zonas afectadas. La gran mayoría de los casos de licuación documentados se concentran en una estrecha franja costera del estado de La Guaira con unos 30 km de longitud, que se extiende desde Catia La Mar en el oeste, pasando por Maiquetía, La Guaira y Macuto, hasta Caraballeda y Tanaguarena en el este. La franja es una cinta discontinua de abanicos aluviales coalescentes, depósitos de playa y cordones litorales, sedimentos de desembocadura de ríos y rellenos costeros artificiales, situada entre el escarpado frente norte de la Cordillera de la Costa y el Mar Caribe. Los abanicos aluviales se formaron y fueron retrabajados en repetidas ocasiones por flujos de detritos que descendían del macizo del Ávila. El evento de diciembre de 1999, por sí solo, depositó grandes volúmenes de arena, grava y cantos rodados en lo que ahora es la huella urbana de Caraballeda y sus vecinos, y las investigaciones superficiales en los frentes de las colinas entre Catia La Mar y Caraballeda indicaron sedimentos superficiales del orden de 3 m sobre esquisto y gneis erosionados. El espesor de los sedimentos aumenta bruscamente hacia el mar. El modelo geofísico de Romero et al. (2006), basándose en datos de refracción sísmica, ruido ambiental y gravedad, indica una profundidad hasta el basamento de aproximadamente 180 m en La Guaira, 290 m cerca de Punta El Cojo en Macuto y 450 m cerca de la línea costera de Caraballeda, con períodos fundamentales de sitio a través de las superficies del abanico de aproximadamente 0.9 a 1.8 s. El nivel freático es poco profundo a lo largo de la costa, y casi todas las geoformas descritas en este capítulo se encuentran a unos 250 metros de la costa o a pocos metros de un canal fluvial o una marina. Desde hace tiempo se reconoce que los daños en este corredor son sensibles a las condiciones geológicas y geotécnicas locales, y la concentración de los daños de 2026 en depósitos costeros recientes que contienen agua repite un patrón documentado después de terremotos anteriores en Venezuela.

El capítulo evalúa la evaluación de los riesgos de licuación. El modelo geoespacial de riesgo de licuación muestra que la franja costera de La Guaira, el valle inferior del Yaracuy y las cuencas del Tuy, Valencia y Barlovento tienen un riesgo relativo mayor de licuación. El modelo se basa en variables indirectas Vs30, la distancia a los cuerpos de agua y la humedad climática, y no puede resolver los estrechos abanicos aluviales ricos en cantos rodados de la costa de La Guaira, donde la susceptibilidad a la licuación varía en decenas de metros entre gravas densas de abanico, arenas sueltas de playa y canal, y rellenos de marina colocados hidráulicamente. El capítulo señala que se pueden obtener estimaciones mejoradas sobre la susceptibilidad a la licuación local y del riesgo mediante la

ejecución de pruebas in situ, y que el evento de 2026 ofrece una oportunidad inusualmente bien definida para probar modelos geoespaciales con datos de campo frente a evidencia tanto positiva como negativa.

Los autores cartografían la distribución espacial de la licuación observada. Las manifestaciones superficiales de la licuación incluyen asentamientos excesivos, desprendimiento lateral y eyección de material a la superficie. Luego de los terremotos de junio de 2026 en Venezuela, se registraron manifestaciones de licuación superficial a lo largo de gran parte de la costa norte venezolana, observándose la mayor concentración en La Guaira. El equipo remoto de GEER hizo un inventario de 68 manifestaciones relacionadas con el desprendimiento lateral y la licuación, incluyendo asentamientos, volcanes de arena, grietas en el suelo y subsidencia, entre Maiquetía y Tanaguarena. En los lugares donde fue posible el acceso, el equipo de campo local de GEER visitó sitios seleccionados y verificó la presencia de deformaciones del terreno relacionadas con la licuación. La evidencia se divide en tres grupos. El primero, y con mucho el mejor documentado, es el corredor costero de La Guaira. El segundo se ubica en el valle del río Yaracuy, a pocos kilómetros del epicentro del terremoto de San Felipe, donde se documentó una larga fisura paralela al río en Pueblo Ferriar, se filmó una extensa fisura por licuación en el municipio Veroes y se reportaron grandes y profundas grietas en el suelo entre Agua Negra y Palmarejo. El tercero recorre la costa central entre Morón/Puerto Cabello y Chuao, incluyendo el agrietamiento de la playa al este de Puerto Cabello y la licuación con volcanes de arena en Boca de Aroa, georreferenciada en el repositorio de medios StEER.

Los autores presentan el inventario elaborado a partir de imágenes posteriores al evento. Los autores documentan que el inventario elaborado a partir de imágenes posteriores al evento comprende 68 geoformas relacionadas con la licuación identificadas a lo largo del corredor de La Guaira, incluyendo volcanes de arena, grietas en el suelo, subsidencia y expansión lateral. En el caso de las geoformas cuya evidencia fue efímera y que quizás ya no sean observables, como los volcanes de arena y el desprendimiento lateral en las playas, que no se verificaron sobre el terreno, el inventario de teledetección ofrece una valiosa documentación de su ocurrencia en el período inmediatamente posterior al terremoto. Por el contrario, durante futuras investigaciones de campo se podrían evaluar geoformas que pueden persistir durante períodos más prolongados, como subsidencia, grietas en el suelo y algunas expansiones laterales, para confirmar o validar estas interpretaciones. Las diferencias entre los mecanismos de falla inferidos remotamente y los verificados en el sitio resaltan el valor del reconocimiento de campo para validar y refinar las interpretaciones derivadas de la teledetección. Al proporcionar observaciones de control en el terreno, las investigaciones de campo ayudan a calibrar las metodologías de reconocimiento remoto, a mejorar la confianza en la clasificación de mecanismos y a identificar nuevas limitaciones que deben documentarse al interpretar los rasgos de fallas del terreno inducidas por terremotos basándose únicamente en imágenes. Los autores enumeran los sitios documentados por los equipos que contribuyeron a este capítulo y consolidan las mediciones cuantitativas disponibles de esos sitios. La dispersión de las mediciones en relación con la magnitud del daño observado es en sí misma un hallazgo. Solo cuatro sitios en el conjunto de datos de GEER contienen una cantidad medida con cinta, y ninguno incluye un transecto de levantamiento del desplazamiento acumulado a lo largo de una expansión.

Los autores clasifican los tipos de evidencia. Las grietas en el suelo perduran más que el material eyectado y dominan los registros de campo, pero también son la clase más propensa a la ambigüedad en cuanto a su mecanismo. Las grietas que se conservan se encuentran en terrenos bajos, a pocos metros de altura, cerca de una cara libre, en un entorno donde la licuación o el ablandamiento cíclico de los depósitos granulares saturados es la explicación más práctica. Las marinas de Catia La Mar y Caraballeda ofrecen la geometría de cara libre más clara en la zona afectada, con rellenos colocados por medios hidráulicos o vertidos de forma suelta que mantienen una superficie de agua abierta de varios metros de altura.

En todas las marinas visitadas se observa el mismo patrón: grietas casi paralelas a la orilla del agua, que se abren progresivamente hacia ella, con escalones verticales y hundimiento del pavimento detrás. Entre el centro comercial Doña Bárbara y el demolido Centro Comercial IP5, la Av. José María España discurre aproximadamente entre 100 y 250 metros tierra adentro, y casi paralela a la línea costera de Caraballeda. A lo largo de un tramo de varios cientos de metros, la carretera está interrumpida por grietas paralelas a la costa con desplazamiento del brocal, levantamiento del pavimento y asentamiento del terreno adyacente. Se midieron grietas de hasta 160 mm de ancho a unos 225 m de la costa, con inclinación de rejas y muros en la misma cuadra. La geometría (grietas paralelas a la costa que se ensanchan hacia la cara libre sobre una superficie en forma de abanico con una ligera pendiente) es característica del desprendimiento lateral más que del deterioro del pavimento provocado por los temblores, aunque en este caso ambos fenómenos se superponen. En el cruce del río Camurí Chico, entre Macuto y Caraballeda, se midieron desplazamientos laterales de hasta 160 mm en los estribos del puente, el tablero aparentemente desplazado en dirección al mar, es decir, hacia el norte, en relación con los accesos. En Los Corales, la superficie del suelo alrededor de un edificio de una sola planta se asentó hasta 205 mm con respecto a la estructura, dejando al descubierto la parte inferior de la losa del suelo. En la terminal de autobuses de Catia La Mar, las losas del estacionamiento se desplazaron aproximadamente 270 mm. A pocos kilómetros del epicentro del terremoto de magnitud 7.2, la evidencia es de otro tipo: fisuras largas y profundas en tierras bajas aluviales cultivadas. En Pueblo Ferriar, una fisura se extiende aproximadamente 380 m paralela al río, a lo sumo unos 3 m del cauce. Un vídeo del municipio Veroes muestra fisuras de escala comparable, grietas abiertas de un metro o más de profundidad que atraviesan campos de forma continua, cuyas posiciones aún no han sido inspeccionadas. En la costa central, el agrietamiento de la playa y de la faja costera posterior al este de Puerto Cabello y la evidencia georreferenciada de Boca de Aroa

completan un panorama de activación en arenas costeras sueltas a lo largo de al menos 130 km de costa.

Los autores documentan también la evidencia negativa. La manifestación superficial de la licuación permanece sin documentar debajo de la mayoría de los bloques de edificios altos que se derrumbaron en Catia La Mar, Maiquetía, Macuto y Caraballeda, a pesar de que esos bloques se asientan sobre los mismos depósitos costeros que los sitios de licuación confirmados a unos cientos de metros de distancia. Persisten las siguientes explicaciones: una unidad no licuable de gravas y cantos rodados en abanico, lo suficientemente gruesa como para suprimir la expresión superficial, pero que aún permite el ablandamiento en profundidad; licuación confinada a lentes de arena discretos dentro de una secuencia de abanico predominantemente gruesa; enmascaramiento de los materiales eyectados por escombros de construcción y por el tráfico de demolición y limpieza; o ausencia real del desencadenante, donde el daño al edificio es atribuible a un movimiento telúrico amplificado de larga duración que actúa sobre marcos de concreto reforzado sensibles al desplazamiento con relleno de mampostería sin refuerzo. Solo la investigación del subsuelo en los sitios de colapso permitirá diferenciarlos.

Los autores incorporan las observaciones de apoyo provenientes de la geodesia satelital. Los productos de correlación de subpíxeles de imágenes ópticas que cubren el corredor costero muestran patrones de desplazamiento coherentes de norte a sur y de este a oeste en la línea costera de Caraballeda, Catia La Mar y la plataforma del aeropuerto. Estos productos están dominados por el desplazamiento tectónico, los residuos de ortorrectificación y la decorrelación sobre superficies modificadas, por lo que no deben interpretarse directamente como desplazamiento por falla del terreno. Los autores los utilizan únicamente para señalar que las anomalías localizadas en la línea costera coinciden espacialmente con las geoformas de desprendimiento lateral cartografiadas, y que la señal de la plataforma del aeropuerto coincide con una deformación controlada estructuralmente.

Los autores proponen una interpretación preliminar. Proponen las siguientes hipótesis de trabajo. La licuación y el desprendimiento lateral de cara libre se concentran en las unidades costeras bajas: arenas de playa y de la zona posterior a la costa, rellenos de marinas y puertos, y depósitos de desembocaduras de ríos a elevaciones de pocos metros, siempre a decenas o cientos de metros de agua abierta. Los desplazamientos medidos tienen una escala de decímetros. La manifestación está fuertemente condicionada por la geomorfología de la zona. Las superficies de abanico ricas en grava y cantos rodados, formadas en gran medida por los flujos de detritos de 1999 y anteriores, muestran poca o ninguna expresión en la superficie, incluso donde las condiciones del temblor y de la capa freática eran comparables a las de los sitios donde sí se expresaron. La demanda se refiere a un sitio cercano a la fuente con una gran ruptura de desplazamiento lateral, una larga duración efectiva a partir de los terremotos y amplificación dentro de una cuña sedimentaria acuífera, potente y blanda, en lugar de la modesta demanda de campo lejano sugerida por la distancia epicentral. Varias observaciones admiten más de una interpretación. La relación entre la licuación y el derrumbe de edificios no está resuelta. Nada en el conjunto de datos actual demuestra que el fallo del terreno sea un factor principal en el derrumbe de edificios de gran altura, y nada descarta que el ablandamiento de los suelos de soporte haya sido un factor coadyuvante.

Los autores organizan las observaciones en potenciales casos de estudio y formulan una agenda de investigación. Los autores enumeran los potenciales casos históricos disponibles en el material del capítulo, la pregunta que cada uno puede responder y los datos que aún faltan. Se llevó a cabo una primera campaña de Pruebas de Penetración Estándar (SPT) en el complejo de viviendas Urbanismo Hugo Chávez en Catia La Mar, con sondeos distribuidos por todo el complejo; al momento de preparar este informe no estaban disponibles los registros y los recuentos de golpes, que servirán de base para las evaluaciones posteriores. Las acciones recomendadas, en orden aproximado de prioridad y de caducidad, incluyen: documentación con calidad de levantamiento de las expansiones laterales mientras permanecen abiertas (altura de la cara libre, distancia desde la cara, anchura de la fisura y desplazamiento acumulado a lo largo de los transectos en los puertos deportivos y a lo largo del corredor de Caraballeda); la medición de la profundidad de las grietas como protocolo de campo rutinario; el perfilado mediante prueba de penetración de cono (CPT) junto con la prueba SPT que ya se hizo en el Urbanismo Hugo Chávez, extendido a los sitios de marinas y el corredor de la Av. José María España; una investigación comparativa en los sitios del derrumbe y en los bloques adyacentes que tuvieron un buen desempeño; muestreo y clasificación de los materiales eyectados que sobrevivieron y de las arenas de origen; perfilado de la velocidad de las ondas de corte hasta al menos 30 m en sitios representativos y la reocupación de los puntos de medición de Romero et al. (2006) donde sea posible; mediciones del nivel freático en cada punto de investigación; verificación sobre el terreno de los campos de fisuras de Veroes y de Boca de Aroa; reprocesamiento de los productos de correlación óptica con el control en terreno local; obtención de estimaciones de demanda instrumental o macrosísmica para el corredor; y coordinación con los demás grupos de autores que trabajan en este corredor.

El Capítulo 9 del informe GEER (Montalva et al., 2026, Cap. 9) documenta la licuación y las fallas del terreno inducidas por el terremoto en el corredor costero de La Guaira. La evidencia recopilada (68 manifestaciones de licuación, con desplazamientos laterales de hasta 270 mm y asentamientos de hasta 205 mm) permite identificar los depósitos costeros bajos como las zonas de mayor susceptibilidad. Sin embargo, la relación entre la licuación y el derrumbe de edificios de gran altura sigue sin resolverse: nada en el conjunto de datos actual demuestra que el fallo del terreno sea un factor principal en el derrumbe, y nada descarta que el ablandamiento de los suelos de soporte haya sido un factor coadyuvante. Esta incertidumbre plantea la necesidad de investigaciones específicas en los sitios de colapso.

3.4.3. Efectos en taludes y laderas

El Capítulo 10 del informe GEER, titulado **"Estabilidad sísmica de taludes y peligros compuestos" (Arnold et al., 2026, Cap. 10)**, documenta los deslizamientos de tierra y los peligros compuestos inducidos por los terremotos del 24 de junio de 2026, así como su intersección con los aludes torrenciales de diciembre de 1999. El capítulo integra la caracterización geotécnica con la evaluación de obras de mitigación y la gestión del riesgo de desastres.

El capítulo reseña los antecedentes de la actividad de deslizamientos de tierra. La Cordillera de la Costa se eleva abruptamente desde el Mar Caribe, alcanzando altitudes superiores a los 2.000 m en un radio de 5 a 20 km de la costa. Los suelos de estas montañas tienen generalmente un espesor de 0,5 a 3 m. La cordillera sufre regularmente pequeños deslizamientos de tierra que proporcionan una tasa base de deposición coluvial. La evidencia de esta actividad de fondo fue evidente en las imágenes previas al evento: durante el mapeo, se encontró que características que se parecían a deslizamientos de tierra cosísmicos recientes en las imágenes posteriores al evento estaban presentes en varios casos antes de los terremotos y fueron excluidas del inventario. Esta actividad de fondo no se cuantificó y no se dispone de datos publicados sobre las tasas de deslizamientos de tierra de fondo para la región; sin embargo, según las observaciones, los deslizamientos de tierra cosísmicos fueron sustancialmente más extensos que la actividad previa al evento visible en las imágenes. Algunas zonas que antes sufrían deslizamientos experimentaron una reactivación. En el caso de deslizamientos superficiales preexistentes, la reactivación se hizo evidente por la pérdida de vegetación en la zona de escarpe y por el cambio de color y aspecto de la superficie del deslizamiento existente.

El capítulo analiza las tendencias de los deslizamientos. Los deslizamientos de tierra cartografiados muestran una marcada orientación hacia el noreste en la dirección de la pendiente del terreno. La distribución de deslizamientos de tierra cartografiados por el equipo GEER según la orientación promedio de la ladera (calculada a partir de un modelo de elevación digital con una resolución de 30 m), con cada pétalo apilado según la pendiente máxima del terreno, muestra que el componente hacia el este de la tendencia es consistente con un efecto de asimetría, que se espera cerca de una falla con desplazamiento permanente tectónico hacia el oeste. La componente norte de la tendencia es consistente con un efecto de atenuación: el movimiento del suelo tenderá a ser más fuerte en el lado norte de la Cordillera de la Costa, que está más cerca de la falla. Esta observación también coincide con la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra; hay más deslizamientos al norte de la cima de El Ávila, donde se ve la mayor parte del color rojo. Esta es también la ladera de la montaña donde se han producido anteriormente flujos de detritos.

El capítulo describe las obras de mitigación construidas tras los aludes torrenciales de diciembre de 1999. Se creó la Autoridad Única de Área del Estado Vargas (AUAEV) para coordinar la reconstrucción y desarrollar planes de protección contra inundaciones basados en presas de retención de sedimentos cerradas y abiertas, así como proyectos de mejora de canales aguas abajo, que posteriormente fueron llevados a cabo por CORPOVARGAS. Para el año 2008, el programa más amplio de reconstrucción y mitigación había dado como resultado la construcción de 63 presas de retención de sedimentos y la canalización de 25 quebradas. El Proyecto Ávila fue un proyecto integral para la cartografía de zonas de riesgo en los abanicos aluviales, que abarcó 12 cuencas hidrográficas a lo largo de la costa central (orientadas al norte) y 7 cuencas hidrográficas en Caracas (orientadas al sur). El Proyecto Ávila aplicó el modelo numérico bidimensional FLO-2D junto con herramientas en GIS para simular la dinámica del agua y los sedimentos, y utilizó relaciones de probabilidad de ocurrencia e intensidad de eventos para clasificar el peligro como alto, medio o bajo. Posteriormente, otros estudios generaron nuevos mapas de riesgo de flujos de detritos para cuencas hidrográficas específicas, como el proyecto PREDERES para las cuencas de Mamo, La Zorra y Tacagua ubicadas en la parte occidental del estado, incluyendo el efecto de obras de mitigación tales como presas y proyectos de canalización. Se compilaron todos los mapas de amenaza hasta la fecha que han incluido estructuras de control de sedimentos en un total de ocho cuencas: Mamo, La Zorra, Tacagua, San José de Galipán, Piedra Azul, Cerro Grande y Quebrada Seca de Caraballeda.

El trabajo aborda los peligros compuestos. Los aludes torrenciales a lo largo de la Cordillera de la Costa al norte de Caracas son peligros recurrentes y no eventos aislados, con eventos históricos documentados en 1798, 1938, 1948 y 1951. Sin embargo, los impactos de estos eventos son difíciles de comparar directamente con los del año 1999 debido a los cambios en la densidad de población y el desarrollo urbano. Posterior a los aludes torrenciales del año 1999, la primera tormenta importante que puso a prueba el rendimiento de las presas de control de sedimentos tuvo lugar en febrero de 2005. Provocó 431 mm de lluvia (medidos en la estación hidrometeorológica de Macuto) a lo largo de la Cordillera de la Costa y causó aludes torrenciales que afectaron muchas de las mismas áreas afectadas en el año 1999. El evento del año 2005 fue importante para movilizar nuevamente sedimentos que se habían acumulado pero que no fueron transportados al mar en el año 1999, con un volumen total de sedimentos depositados de 800.000 m³. Una inspección de las presas de control de sedimentos realizada por FUNVISIS y el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela después del evento del año 2005 indicó que, de las 18 presas inspeccionadas, 10 estaban casi completamente llenas de sedimentos, pero aún contaban con cierta capacidad para almacenamiento. Los resultados de la inspección pusieron de manifiesto la dificultad de acceder a la mayoría de las presas para conducir una limpieza de sedimentos acumulados y restaurar la capacidad de almacenamiento.

Los autores cuantifican la densidad de deslizamientos de tierra inducidos por los terremotos en cada cuenca hidrográfica. Los resultados indican que las mayores densidades de deslizamientos de tierra (4-5%) se estimaron para la cuenca de San Julián, que desemboca en Caraballeda, y para la cuenca de El Cojo. Además, los resultados indican que

los deslizamientos de tierra provocados por terremotos se produjeron principalmente en la parte alta de las cuencas hidrográficas. Al comparar los deslizamientos de tierra cosísmicos con los deslizamientos de tierra provocados por las lluvias en el año 1999, se observan dos diferencias importantes. En primer lugar, la densidad de deslizamientos de tierra provocados por las lluvias fue mayor en el año 1999, con la cuenca costera de San Julián, por ejemplo, mostrando una densidad del 18%. En segundo lugar, la mayoría de los deslizamientos de tierra provocados por las lluvias durante el evento del año 1999 tuvieron lugar en la parte baja de la cuenca hidrográfica. Sin embargo, considerando que los eventos hidrológicos a lo largo de la Cordillera de la Costa tienden a producir más lluvia en elevaciones más altas en comparación con la costa, futuras tormentas pueden tener la capacidad de arrastrar y transportar el sedimento proveniente de los deslizamientos de tierra a causa de los terremotos del año 2026, lo que podría inducir futuros aludes torrenciales. Además de la densidad de deslizamientos, otros factores también son importantes a la hora de considerar la posible generación de aludes torrenciales (por ejemplo, el tipo de suelo, la cubierta vegetal y la pendiente).

El capítulo recoge las observaciones en el lugar del deslizamiento de tierra. La mayoría de los deslizamientos de tierra ocurrieron en zonas remotas a las que no se pudo acceder para realizar investigaciones de campo; se tomaron fotografías en algunos lugares a los que el equipo de campo de GEER sí pudo acceder. En el momento de redactar este informe, gran parte del Parque Nacional Waraira Repano (también conocido como El Ávila, que contiene aproximadamente el 80% de los deslizamientos identificados en el Área A) permanece cerrado por motivos de seguridad. Sin embargo, el terreno escarpado hacía visibles varias zonas de deslizamientos activos desde las áreas pobladas al sur (Caracas) y al norte (Caraballeda) de la Cordillera de la Costa.

Las observaciones del sitio se centran en: deslizamientos que causan o amenazan con afectar la infraestructura; peligros compuestos relacionados con aludes torrenciales; y ejemplos típicos de deslizamientos superficiales de suelo/roca observados en toda la región. Entre los impactos en la infraestructura observados a raíz de los deslizamientos de tierra se incluyen bloqueos de carreteras y daños en las laderas que sostienen los edificios. Entre los peligros compuestos identificados se incluyen los daños o la deposición anormal de material en las presas de retención de sedimentos. Independientemente de la presencia de presas de retención de sedimentos, el exceso de depósitos de coluvión en la cuenca hidrográfica representa un peligro compuesto para los flujos de detritos durante las lluvias intensas.

4. SERVICIOS PÚBLICOS Y OBRAS DE MITIGACIÓN

La respuesta estructural y geotécnica del hábitat construido, analizada en la sección anterior, se complementa con el desempeño de la infraestructura y los servicios públicos esenciales durante el evento. El doblete sísmico puso a prueba la capacidad de los sistemas de transporte, energía, agua potable, saneamiento, telecomunicaciones y gestión de residuos para mantener su operatividad en las condiciones extremas que siguieron al impacto. Algunos sistemas resistieron sin daños importantes, otros colapsaron y otros vieron interrumpidas sus cadenas logísticas. Esta heterogeneidad no depende únicamente de la intensidad del movimiento sísmico, sino de factores como la ubicación respecto a las fallas activas, la redundancia de rutas y sistemas, la sectorización de las redes, la existencia de planes de contingencia y la capacidad de respuesta institucional.

4.1. Accesos, movilidad y servicios públicos

"Terremoto de Caracas y La Guaira del 24 de junio de 2026. Vulnerabilidad de accesos y servicios públicos" (Páez-Pumar, 2026), evalúa la vulnerabilidad de los accesos y los servicios públicos de la Gran Caracas y el litoral central. El trabajo es una contribución relevante porque compara las vulnerabilidades identificadas en 2017 con los daños realmente causados por el evento de 2026, lo que permite evaluar la capacidad predictiva de los estudios de vulnerabilidad. Su aporte principal es la documentación sistemática de los daños en la red vial, los accesos, el aeropuerto, el puerto y los servicios públicos. Su principal limitación es que se concentra en la Gran Caracas y el litoral central, sin extender el análisis a otras regiones afectadas.

El autor parte de una constatación fundamental. En junio de 2017, en el libro "El terremoto de Caracas de 1967: 50 años después", se publicó un estudio sobre las vulnerabilidades de acceso y servicios públicos previstas ante un nuevo evento sísmico que afectara a la Gran Caracas. El presente artículo compara esas vulnerabilidades identificadas originalmente con los daños causados por el doblete sísmico del 24 de junio de 2026. Esta comparación entre lo previsto y lo ocurrido permite evaluar la capacidad predictiva de los estudios de vulnerabilidad.

En cuanto a la vulnerabilidad vial, el autor describe que Caracas tiene un Sistema Expreso Vial Interurbano constituido por cuatro rutas principales (Caracas-La Guaira, Caracas-Guarenas-Guatire, Caracas-Valles del Tuy y Caracas-Altos Mirandinos), y que las rutas alternas están en mal estado y tienen poca capacidad para absorber el volumen vehicular en caso de una interrupción. Documenta que la Autopista Caracas-La Guaira no se vio afectada de forma importante durante el sismo de 2026, que la Autopista Regional del Centro no se vio afectada, y que la Carretera Panamericana sufrió el cierre total y obstrucción de vías debido a múltiples derrumbes de gran magnitud. Documenta también que la red vial del estado La Guaira se vio sumamente afectada, con el colapso del puente sobre el río San Julián que conecta a Caraballeda con el resto de La Guaira.

En cuanto a los accesos, el autor reporta que el Ferrocarril del Tuy y el Metro de Los Teques no sufrieron afectaciones importantes y entraron nuevamente en funcionamiento; que la Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda no sufrió afectaciones; y que el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar de Maiquetía se vio bien afectado por estar alineado con la falla de San Sebastián y próximo al epicentro, con grietas longitudinales en la pista 10L, grietas en la pista 10R, colapso

de cielos rasos y cerramientos interiores, y la suspensión de operaciones aéreas. El Puerto de La Guaira también se vio afectado, con fallas estructurales y agrietamientos severos en los patios y almacenes de carga, así como en el muelle de contenedores, donde se observaron grúas descarriladas y presencia de licuación de suelos.

En cuanto a los servicios públicos, el autor precisa que la red de transmisión de 230 kV que cruza Caracas por El Ávila no se vio afectada, pero sí las torres de transmisión de 69 kV que alimentan Catia La Mar y Caraballeda, lo que obligó a aislar cargas y desconectar preventivamente las subestaciones para evitar un colapso en cadena. Documenta que el Acueducto Metropolitano de Caracas no se vio afectado, pero que las redes de distribución de agua colapsaron en el estado La Guaira, afectando a 334.180 habitantes. Documenta también la ruptura del cable de fibra óptica del sistema submarino South American Crossing, ocurrida a unos 1,8 kilómetros de la estación de amarre de Puerto Viejo en Catia La Mar. Esa ruptura redujo aproximadamente un 50% la capacidad internacional de transmisión de datos del país. El restablecimiento del servicio eléctrico en La Guaira alcanzó el 60% el 27 de junio y el 96% el 10 de julio, con 21 subestaciones completamente restauradas. La recuperación de los servicios de agua potable alcanzó el 84% el 10 de julio. El sistema de distribución de la presa El Guapo sufrió 91 fallas en 75 km de tuberías, de las cuales 83 habían sido reparadas al 14 de julio

El autor formula conclusiones y recomendaciones. Señala que es urgente la toma de conciencia sobre la importancia de una posición proactiva frente al riesgo sísmico, y recomienda dar prioridad a una serie de trabajos: terminar las obras del Viaducto Tacagua y del túnel Boyacá, construir el Distribuidor Macayapa, reparar y reforzar el viaducto La Cabrera, evaluar la vulnerabilidad sísmica de los puentes y viaductos existentes, acometer un programa de rehabilitación y mejoramiento de barrios, realizar un estudio de las fallas de borde existentes, realizar evaluaciones sistemáticas de las fundaciones de las torres de transmisión, actualizar los planes maestros de aguas blancas y residuales del estado La Guaira, y llenar el embalse de Macarao.

"Resiliencia y recuperación funcional de redes de telecomunicación móviles" (De Viana, 2026), reformula el paradigma de diseño de las redes móviles desde la preservación de la vida hacia la recuperación funcional, sustentada en el marco conceptual 3R (Confiabilidad, Robustez y Resiliencia). El autor parte de una constatación fundamental: el diseño convencional de la ingeniería estructural y de telecomunicaciones, enfocado en evitar el colapso físico, resulta insuficiente ante eventos destructivos de gran magnitud. Una estación de telecomunicaciones puede conservar su integridad estructural y quedar completamente fuera de servicio por el volcamiento de bastidores, la rotura de acometidas eléctricas o la pérdida de alineación de antenas. La inoperatividad funcional de las telecomunicaciones desencadena fallas en cadena en otros servicios públicos y priva a la población de asistencia en el lapso posterior al desastre. Esta tesis introduce la interdependencia sistémica de las líneas de vida como dimensión de análisis.

El autor presenta la recurrencia histórica de eventos catastróficos en Venezuela (Cariaco 1997, Vargas 1999, Mocotíes 2005, Tovar 2021, Las Tejerías 2022) y la evidencia forense internacional (Maule 2010, Tohoku 2011, Katrina 2005, Sandy 2012, Amatrice 2016, Hunga Tonga 2022, Helene y Milton 2024), y a partir de esa evidencia formula recomendaciones técnicas y regulatorias. Los cuatro pilares de innovación tecnológica que transforman las redes móviles contemporáneas, tales como los enlaces troncales satelitales LEO, virtualización NFV/SDN, almacenamiento LiFePO4 y microrredes híbridas con capacidad de isla, constituyen una hoja de ruta para la reconstrucción resiliente de las telecomunicaciones en Venezuela.

El autor detalla el acoplamiento bidireccional entre el sistema eléctrico de potencia y las redes celulares de telecomunicaciones. Cuando un sismo mayor o un alud torrencial derriba las líneas de transmisión eléctrica de alta y media tensión, las radiobases celulares conmutan de forma automática a sus fuentes de energía de respaldo; en aquellas instalaciones no provistas de sistemas avanzados de microgeneración, los bancos de baterías tradicionales agotan su carga produciendo la desconexión simultánea de extensas zonas de cobertura. A partir de ese instante se activa el ciclo de falla inversa: sin red móvil operativa, los centros de despacho de las empresas eléctricas quedan ciegos ante la pérdida de telemetría de sus subestaciones y pierden la comunicación con sus cuadrillas de reparación en campo. La imposibilidad de coordinar la logística de transporte de combustible y priorizar los trabajos en circuitos averiados retrasa la restitución del servicio eléctrico generalizado, lo que a su vez profundiza y prolonga el apagón del sistema celular. Este bucle destructivo en cascada muestra que la vulnerabilidad de las líneas de vida es sistémica y que su resiliencia debe abordarse de manera integrada.

El autor advierte que la anulación de las comunicaciones móviles lesiona la capacidad de respuesta humanitaria e institucional en cuatro dimensiones fundamentales: en el plano de las decisiones estratégicas, los comités de crisis y comando quedan privados de información agregada en tiempo real para dimensionar el siniestro; en el nivel logístico y territorial, los reportes de daños, necesidades de medicamentos y colapso de vías no alcanzan las salas situacionales; en la dimensión de la conciencia situacional táctica, los equipos de bomberos y defensa civil operan de forma aislada, careciendo de cartografía georreferenciada de riesgos o coordenadas de sobrevivientes; y en la esfera comunitaria, la población pierde el acceso a las líneas de emergencia y a las directrices oficiales de seguridad, desatando pánico e impidiendo evacuaciones ordenadas. Este colapso cobra especial gravedad durante las denominadas "Horas Doradas", correspondientes a las primeras 24 a 48 horas posteriores al evento.

El autor propone una hoja de ruta técnica y regulatoria. En materia estructural y de emplazamiento físico, propone el aislamiento dinámico basal de bastidores electrónicos, el anclaje sismorresistente de componentes electromecánicos y la sobreelevación de recintos técnicos por encima de los niveles de inundación con período de retorno de quinientos años. En

el ámbito de la ingeniería energética, propone proscribir progresivamente el uso exclusivo de acumuladores de plomo-ácido en infraestructuras neurálgicas, promoviendo su reemplazo obligatorio por bancos de LiFePO4 dotados de telemetría inteligente, complementados con microrredes híbridas de energía renovable capaces de funcionar en modo isla. En el plano de las arquitecturas lógicas y de radiofrecuencia, propone promover topologías multicapa tridimensionales que combinen la red terrestre convencional con enlaces troncales de conmutación automática sustentados en mega constelaciones satelitales en órbita baja. En el terreno de la gobernanza institucional, propone actualizar el Plan Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia, consagrar en la legislación la obligatoriedad del Roaming Nacional de Emergencia entre todos los operadores públicos y privados, y aplicar con carácter vinculante las disposiciones de diplomacia humanitaria establecidas en el Convenio de Tampere.

El análisis del acoplamiento bidireccional entre el sistema eléctrico y las redes celulares realizado por De Viana (2026) permite identificar un patrón sistémico que se repite en cada evento destructivo: cuando el sistema eléctrico colapsa, las redes de telecomunicaciones quedan sin respaldo; y cuando las redes de telecomunicaciones colapsan, los centros de despacho eléctricos quedan ciegos y no pueden coordinar la reparación. Este bucle destructivo en cascada ilustra la necesidad de abordar la resiliencia de las líneas de vida de manera integrada, y no como una suma de sistemas independientes.

El Capítulo 13 del informe GEER, titulado **"Redes de servicios esenciales" (Rose et al., 2026, Cap. 13)**, evalúa los impactos del evento del 24 de junio de 2026 sobre las redes de servicios esenciales: petróleo y gas, energía eléctrica, agua potable y red sanitaria, y transporte. El capítulo documenta la vulnerabilidad de los sistemas que sostienen la operatividad del hábitat construido, con énfasis en la interdependencia entre los sistemas y en la distinción entre daños directos, provocados por el movimiento sísmico, y daños indirectos, provocados por la interrupción de otros servicios.

El capítulo documenta que la refinería El Palito sufrió una gran fuga de petróleo y la interrupción de operaciones por corte de energía eléctrica, y que el Complejo Petroquímico de Morón sufrió daños en la infraestructura de almacenamiento y una fuga en un tanque; sin embargo, las principales regiones productoras (Faja del Orinoco, occidente) continuaron operando sin daños significativos. En el sistema eléctrico, diez torres de transmisión en la línea Planta Centro-Yaracuy resultaron dañadas, con la pérdida de 600 MW del Sistema Eléctrico Nacional; la central Planta Centro sufrió una parada temporal; y se reportaron cortes de energía en Caracas, La Guaira, Barquisimeto, Coro, Maracay, Mérida, Nueva Esparta, San Cristóbal y Valencia. El restablecimiento del servicio alcanzó el 60% en La Guaira el 27 de junio y el 96% el 10 de julio, con 21 subestaciones completamente restauradas. En el agua potable y la red sanitaria, se registraron interrupciones en Caracas, Miranda, Falcón, Yaracuy, Zulia y La Guaira; el sistema de distribución de la presa El Guapo sufrió 91 fallas en 75 km de tuberías, de las cuales 83 (91%) habían sido reparadas al 14 de julio; y la recuperación de los servicios de agua potable alcanzó el 84% el 10 de julio. En el transporte, el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar sufrió daños graves en el terreno y en las estructuras, con la pérdida de soporte de grandes vigas de hormigón prefabricado y el derrumbe de muros de relleno; el Puerto de La Guaira suspendió operaciones comerciales por daños en la terminal de contenedores y por efectos de licuación; los sistemas de metro y ferrocarril de Caracas fueron clausurados temporalmente; y la carretera Caracas-La Guaira tuvo acceso restringido al personal de emergencia.

Las observaciones realizadas desde la carretera en las instalaciones de Pequiven permitieron identificar daños estructurales en varios edificios industriales: el derrumbe de un edificio industrial de hormigón, el derrumbe parcial de un silo de almacenamiento y el derrumbe parcial del tejado de un edificio industrial con estructura de acero. Los daños en el tejado parecían estar relacionados con un problema preexistente, por lo que no está claro si fueron consecuencia directa de los terremotos. El sistema de soportes de tuberías de la instalación no presentaba signos visibles de daños y parecía seguir funcionando con normalidad. En la central eléctrica de Plantacentro, se informó de un fallo en un componente eléctrico tras el terremoto; entre los daños observados se encontraban el desprendimiento de amortiguadores en espiral en una sección de la planta, así como daños en varios cables de transmisión. El equipo de reconocimiento de campo no observó daños en las torres de transmisión ni en sus elementos de anclaje.

Las observaciones de reconocimiento indicaron impactos generalmente limitados en la infraestructura de agua potable y red sanitaria, con daños concentrados en áreas localizadas. En la planta de tratamiento de aguas residuales de La Mariposa, en Carabobo, se observaron grietas en la mampostería de algunos edificios, pero la instalación se mantuvo en pleno funcionamiento. De manera similar, la planta de tratamiento de aguas residuales de Los Guayos, cerca o en las orillas del lago Valencia, no experimentó interrupciones operativas ni evidencia de fenómenos geotécnicos inducidos por el terremoto, como licuación, asentamiento o colapso; el suelo predominante en esa zona era limo de baja plasticidad. En otro punto, se observó una desalineación en la sección transversal de los canales de drenaje de aguas pluviales a lo largo de la carretera de acceso al aeropuerto de Valencia. En La Guaira, por la Avenida José María España, se evidenció rotura y deformación generalizada de los canales de drenaje longitudinales y transversales en la zona de Caraballeda.

Las observaciones de reconocimiento indicaron que la infraestructura de transporte sufrió daños tanto estructurales como geotécnicos, y que los impactos más graves se concentraron en las comunidades costeras. La terminal de autobuses de Catia La Mar presentó fallos estructurales generalizados en vigas y conexiones, así como un colapso generalizado de la mampostería y rotura de losas asociado a una respuesta de diafragma flexible; la estructura de la plataforma trasera de la terminal también se derrumbó. Las observaciones geotécnicas realizadas en el lugar revelaron separaciones de hasta 20 cm en las losas del estacionamiento y erosión localizada en algunos de los cimientos de la estructura.

En cambio, la terminal de autobuses de La Guaira permaneció estructuralmente intacta, con daños limitados a componentes no estructurales; entre los daños observados se incluyó la pérdida del revestimiento exterior de una columna sin comprometer la estructura principal, así como el desprendimiento de mampostería en el segundo nivel y en partes del techo. Los daños en la red de transporte fueron generalizados. Cerca del puerto deportivo de Caraballeda, la calzada presentaba un desnivel de aproximadamente 1,2 m, acompañado de grietas longitudinales y transversales de hasta 30 cm de ancho. Se observaron deslizamientos de tierra y bloqueos de carreteras causados por el derrumbe de edificios a lo largo de la carretera principal que atraviesa Catia La Mar, y se documentaron condiciones similares a lo largo de la 5ª Calle. En la región de Tucacas, los puentes a lo largo de la carretera Morón-Tucacas sufrieron un desplazamiento lateral de aproximadamente 10 cm asociado a deslizamientos de tierra y un desplazamiento vertical de aproximadamente 6 cm, lo que limitó el tráfico a un solo carril. También se observaron daños importantes en los puentes de la zona de La Guaira, donde uno de los puentes de acceso a Caraballeda se había derrumbado y otro, situado más cerca de la costa, se consideraba en riesgo de derrumbe. Además, varios puentes a lo largo de la carretera Caracas-La Guaira en la zona de Bolipuertos sufrieron daños en sus estribos.

La documentación de los impactos en las redes de servicios esenciales realizada por el Capítulo 13 del informe GEER complementa la caracterización de la vulnerabilidad de los accesos y servicios públicos realizada por Páez-Pumar (2026). La evidencia documentada por el Capítulo 13 del GEER confirma el acoplamiento bidireccional entre el sistema eléctrico y las redes de servicios esenciales descrito por De Viana (2026): la refinería El Palito interrumpió sus operaciones no por daños estructurales directos, sino por un corte de energía eléctrica. La interrupción de un servicio esencial puede generar efectos en cascada sobre las cadenas productivas y logísticas. La documentación de los daños en el Puerto de La Guaira confirma la ocurrencia de licuación en los depósitos costeros documentados por Montalva et al. (2026, Cap. 9). La documentación de los daños en puentes y carreteras coincide con la caracterización de los deslizamientos realizada por Arnold et al. (2026, Cap. 10) y con la caracterización de la deformación del terreno realizada por Varela et al. (2026, Cap. 8). La documentación de los daños en la terminal de autobuses de Catia La Mar coincide con la documentación de daños en infraestructura realizada por Fargier-Gabaldón et al. (2026, Cap. 11).

4.2. Presas, obras hidráulicas y control de torrentes

El Capítulo 12 del informe GEER, titulado **"Impactos en las presas" (Perri y Ramírez, 2026, Cap. 12)**, documenta los impactos del evento del 24 de junio de 2026 sobre las presas de suministro de agua y las presas de control de sedimentos de Venezuela. El capítulo es una contribución pertinente porque contrasta el desempeño de las presas con el de otras infraestructuras vitales, y porque documenta las condiciones preexistentes que comprometen su capacidad operativa. Su aporte principal es la verificación de que las presas no sufrieron daños estructurales significativos atribuibles al terremoto, y la documentación de la sedimentación avanzada, la invasión antropogénica de los cauces, la erosión de fundaciones y la inestabilidad de taludes en las cuencas. Su principal limitación es que las causas de la resiliencia de las presas no están documentadas en el capítulo.

En el caso de las presas de suministro de agua, el equipo de GEER coordinó con Pascual Perazzo, presidente del Comité Venezolano de Grandes Presas, quien informó que las autoridades locales no habían observado indicios de daños en las presas de los embalses provocados por los terremotos. Se compartió un inventario nacional de 93 presas de suministro de agua, y se identificaron 10 grandes presas dentro de 100 km del epicentro del evento Mw 7,5. Cuatro de ellas (El Tablazo, Pao La Balsa, Turimiquire y Tule) fueron clasificadas como presas de alto riesgo, y dos (El Cigarrón y El Ermitaño) fueron identificadas como necesitadas de reparaciones. Una inspección piloto realizada en 2004 había establecido categorías de nivel de riesgo basadas en las consecuencias aguas abajo de las presas, clasificación R1 para presas en zonas sísmicas con poblaciones aguas abajo, R2 para presas fuera de zonas sísmicas con poblaciones aguas abajo, R3 para presas en zonas sísmicas con ganado aguas abajo, y R4 para presas en zonas sísmicas sin población ni ganado aguas abajo, y había formulado recomendaciones de reparación y mantenimiento que, en algunos casos, no se habían ejecutado. Este hallazgo indica que el conocimiento técnico sobre las necesidades de intervención en las presas existía desde 2004, pero no se tradujo en medidas preventivas antes del evento de 2026.

El desempeño de las presas durante el evento del 24 de junio de 2026 contrasta con el de otras infraestructuras vitales. El sistema eléctrico sufrió daños severos (diez torres de transmisión dañadas en la línea Planta Centro-Yaracuy, pérdida de 600 MW del Sistema Eléctrico Nacional, cortes de energía en Caracas, La Guaira, Barquisimeto, Coro, Maracay, Mérida, Nueva Esparta, San Cristóbal y Valencia), y el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar y el Puerto de La Guaira vieron interrumpidas sus operaciones. Las presas de suministro de agua y las presas de control de sedimentos no mostraron daños estructurales significativos atribuibles al terremoto. Las autoridades locales no observaron indicios de daños en las presas de los embalses, y la inspección de las presas de control de sedimentos de La Guaira no reveló deformaciones atribuibles al sismo. Este contraste sugiere que no toda la infraestructura vital presentó el mismo nivel de vulnerabilidad ante el evento, y que las características específicas de cada tipo de infraestructura, sumado a las características propias del evento sísmico, condicionaron su desempeño

En el caso de las presas de control de sedimentos, La Guaira alberga 63 presas de retención construidas tras la tragedia de Vargas de 1999, distribuidas en 26 cuencas hidrográficas. El capítulo reporta que el equipo de GEER, coordinado por el Dr. José Luis López Sánchez, inspeccionó 61 estructuras activas. No se observaron deformaciones provocadas por el terremoto, pero se documentaron condiciones preexistentes relevantes: sedimentación avanzada (la mayoría de las estructuras han alcanzado o están cerca de alcanzar su

capacidad máxima de retención), invasión antropogénica (extracción no autorizada de material para la construcción aguas arriba del dique de Naiguatá, ocupación residencial en los corredores de torrentes activos en Macuto y San Julián), erosión de las fundaciones (particularmente en el dique de Toma de Naiguatá, donde se observó erosión significativa en la base del delantal aguas abajo y evidencia de materiales sueltos en la cimentación), e inestabilidad de taludes en las zonas altas de las cuencas.

La inestabilidad de taludes documentada en las zonas altas de las cuencas es un aspecto particularmente relevante porque se articula directamente con la caracterización de los deslizamientos de tierra y los peligros compuestos realizada por el Capítulo 10 del informe GEER (Arnold et al., 2026, Cap. 10). El Capítulo 10 documenta más de 650 deslizamientos de tierra inducidos por los terremotos del 24 de junio de 2026, con una marcada orientación hacia el noreste, y evalúa su intersección con los aludes torrenciales de diciembre de 1999. Los deslizamientos cosísmicos se produjeron principalmente en la parte alta de las cuencas hidrográficas, a diferencia de los deslizamientos provocados por las lluvias de 1999 que tuvieron lugar en la parte baja. Este material movilizado en las zonas altas representa una fuente potencial de futura movilización de sedimentos que podría acelerar la sedimentación de las presas de retención aguas abajo, o incluso generar flujos de detritos durante las lluvias intensas. La combinación de la sedimentación preexistente en las estructuras de retención y la nueva carga de sedimento movilizada por el terremoto en las zonas altas configura un escenario de riesgo compuesto que debe ser considerado en la planificación de la reconstrucción y en la gestión del riesgo de desastres.

El análisis de los impactos en las presas realizada por el Capítulo 12 del informe GEER (Perri y Ramírez, 2026, Cap. 12) revela un contraste relevante: mientras el sistema eléctrico, el aeropuerto y el puerto vieron interrumpidas sus operaciones, las presas de suministro de agua y las presas de control de sedimentos no mostraron daños estructurales significativos atribuibles al terremoto. Sin embargo, la inspección documentó que su capacidad operativa está comprometida por condiciones preexistentes como la sedimentación avanzada, invasión antropogénica de los cauces, erosión de fundaciones e inestabilidad de taludes, y que estas condiciones adquieren una dimensión crítica tras un evento sísmico que ha movilizado grandes volúmenes de sedimento en las cuencas. Este hallazgo plantea la necesidad de incorporar el mantenimiento y la supervisión de las obras de mitigación en la planificación de la reconstrucción.

La evaluación del estado físico y funcional de las obras de mitigación realizada por López (2026), que documenta el colapso de 6 presas, la sedimentación avanzada de la mayoría de las estructuras y los daños en las canalizaciones, refuerza la necesidad de incorporar el mantenimiento y la supervisión de las obras de mitigación como componente permanente de la gestión del riesgo.

El mantenimiento de las obras de mitigación emerge como un componente crítico de la gestión del riesgo. La inspección de las presas de control de sedimentos de La Guaira documentó que la mayoría han alcanzado o están cerca de alcanzar su capacidad máxima de sedimentación, que la extracción no autorizada de material para la construcción y la ocupación residencial en los corredores de torrentes activos comprometen su eficacia, y que la erosión y la inestabilidad de taludes en las zonas altas de las cuencas representan riesgos adicionales. Estas condiciones, aunque preexistentes al terremoto, adquieren una dimensión crítica tras un evento sísmico que ha movilizado grandes volúmenes de sedimento en las cuencas. La evaluación del estado físico y funcional de las 64 presas de control de sedimentos y las canalizaciones construidas entre 2001 y 2008 documenta el colapso de 6 presas, la sedimentación avanzada de la mayoría de las estructuras y los daños en las canalizaciones, y confirma que la pérdida de capacidad protectora no es atribuible al terremoto, sino a causas preexistentes: el abandono de la visión integral de la AUAEV, la sustitución de presas de concreto por gaviones y la falta de mantenimiento sistemático. La inversión en obras de mitigación no se sostiene sin mantenimiento, supervisión y gobernanza institucional.

"**Evaluación del estado físico y funcional de las obras de mitigación de riesgos construidas en el Estado La Guaira a raíz de los deslaves de 1999" (López, 2026)**, evalúa la capacidad protectora de las 64 presas de control de sedimentos y las canalizaciones construidas en La Guaira tras la tragedia de Vargas de 1999, a partir de inspecciones de campo realizadas entre el 21 de julio y el 28 de agosto de 2026. El autor parte de una constatación fundamental: la tragedia de Vargas de diciembre de 1999 impulsó un proyecto de ingeniería de envergadura única en América Latina (la construcción de 64 presas de retención de sedimentos y la canalización de 25 quebradas entre 2001 y 2008) que garantizaba una protección adecuada a las poblaciones asentadas en los abanicos aluviales del hoy denominado Estado La Guaira. Veinte años después, la pregunta que guía el trabajo es si esas obras siguen cumpliendo su función protectora.

El autor caracteriza el estado de las obras. En cuanto a las presas, distingue entre presas cerradas y presas abiertas, y documenta que el 67% de las 36 presas cerradas están completamente sedimentadas, y que el 33% restante presentan un grado de sedimentación entre el 50% y el 80%. Documenta también que el 96% de las 28 presas abiertas presentan un grado de sedimentación entre el 15% y el 70%. Esta sedimentación avanzada, aunque evidencia que las presas han cumplido su función de retener sedimentos, significa que han perdido su capacidad de proteger a las poblaciones aguas abajo. El autor documenta además el colapso de 6 presas (2 en el río Anare, 3 en Quebrada Seca y 1 en Camurí Grande), destruidas por las lluvias torrenciales de 2005, 2010, 2011 y 2022. En el caso de las presas de Anare, el colapso se atribuye al mal empotramiento lateral del estribo izquierdo, anclado en una terraza aluvial de muy poca altura, sin previsión para evitar que el flujo se metiera por detrás de la presa. En el caso de la presa de Camurí Grande, el colapso se atribuye al impacto de bloques producto de derrumbes en el talud derecho, que abrieron una brecha que se amplió con las lluvias posteriores.

En cuanto a las canalizaciones, el autor reporta daños severos en varios ríos: fractura de losas y colapso de traviesas en San Julián, Camurí Grande, Cerro Grande, Naiguatá, Guanape, Camurí Chico y Mamo, por erosión al pie y abrasión del concreto. Documenta también procesos de erosión aguas abajo de las presas, con descenso del lecho de 3,5 m en Camurí Chico, 4,5 m en El Tigre y 5-6 m en el dique-toma de Naiguatá, causados por flujos de aguas claras y por la extracción no autorizada de material granular. El autor identifica la extracción de material granular a menos de 500 m aguas abajo de las obras como una de las causas principales de estos procesos erosivos, y documenta casos específicos en los que la actividad de empresas areneras ha generado procesos de erosión regresiva que han dejado las estructuras de disipación suspendidas en el aire. Documenta también el macro-deslizamiento de la quebrada La Chara, en la cuenca del río San Julián, que amenaza a las comunidades de Santa Bárbara, Las Trillas, La Charita y La Miel, y que continúa siendo un peligro latente, aunque haya sido colonizado por la vegetación.

En cuanto al impacto del sismo del 24 de junio de 2026, el autor señala que no se observaron evidencias de fallas en las obras hidráulicas atribuibles al terremoto. Solo se apreciaron efectos ligeros, como la ampliación de grietas existentes en algunas canalizaciones (Naiguatá, Camurí Grande y San Julián). Sin embargo, el sismo generó 650 deslizamientos en las cuencas, que constituyen una amenaza latente como fuente de sedimentos para futuros aludes torrenciales. El autor destaca que la mayoría de los movimientos en masa ocurrieron en las partes altas de las montañas, y que los arrastres vegetales (ramas y troncos de árboles) pudieran contribuir a la obstrucción de los cauces y generar diques naturales, que al romperse darían origen a aludes torrenciales. El autor cita el estudio del grupo GEER (2026) que identificó 650 movimientos en masa en el flanco norte de la Cordillera de la Costa, entre Catia La Mar y Naiguatá, con las mayores densidades de deslizamientos (4-5%) en las cuencas de los ríos San Julián y El Cojo, que drenan hacia Caraballeda y Macuto.

El autor formula 24 conclusiones y recomendaciones. Entre las más relevantes destacan: la necesidad de 19 nuevas presas abiertas de concreto (8 de rastrillo y 11 de ranura) para restablecer la protección de las poblaciones más vulnerables; la regulación de la extracción de material granular, impidiendo que se realice a menos de 500 m aguas abajo de las obras hidráulicas; la necesidad de un responsable institucional de la operación y mantenimiento de las presas, con recursos garantizados por el Estado; la actualización de los mapas de amenaza por aludes torrenciales, tomando en cuenta las obras existentes y su estado actual; y el desarrollo de una base de datos en SIG para la gestión y monitoreo de las obras. El autor enfatiza que las presas construidas después de los deslaves de Vargas en 1999 han salvado vidas: las 7 presas construidas en las quebradas Piedra Azul y Curucutí retuvieron 100.000 m³ de sedimentos durante las lluvias torrenciales de febrero de 2005, salvando a la población de Maiquetía de un nuevo desastre; y las 6 presas construidas en los ríos Camurí Grande y Migueleno retuvieron 160.000 m³ de sedimentos arrastrados por los flujos torrenciales de 2010, evitando una nueva tragedia en la población de Camurí Grande. La inversión en obras de mitigación no se sostiene sin mantenimiento, supervisión y gobernanza institucional: la evaluación del estado físico y funcional de las presas construidas tras el deslave de 1999 documenta que la pérdida de capacidad protectora no es atribuible al terremoto, sino a causas preexistentes (López, 2026).

5. GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO, RESPUESTA RÁPIDA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

El desempeño de la infraestructura y los servicios públicos, analizado en la sección anterior, se complementa con el análisis de la gestión integral del riesgo, la respuesta institucional y la planificación territorial. El análisis de las obras de mitigación que se presenta a continuación no repite el inventario físico de la sección 4, sino que lo interpreta como componente de la gestión del riesgo: examina por qué la capacidad protectora se perdió y qué implica para la gobernanza. El terremoto del 24 de junio de 2026 puso a prueba la capacidad del Estado y de la sociedad para responder a una emergencia de gran escala, y evidenció tanto las capacidades movilizadas como las brechas persistentes en la gestión del riesgo. La reconstrucción de La Guaira y del litoral central plantea la necesidad de articular la respuesta inmediata con la planificación de largo plazo.

5.1. Vulnerabilidad territorial y respuesta al evento

"Vargas, La Guaira: de los deslaves a los terremotos" (Genatios, 2026), reconstruye la trayectoria de La Guaira desde el desastre hidrometeorológico de diciembre de 1999 hasta los terremotos del 24 de junio de 2026. El trabajo documenta la continuidad de la vulnerabilidad territorial e institucional de la región a lo largo de más de dos décadas, y porque articula la respuesta institucional al desastre de 1999 con la respuesta al evento de 2026. Su aporte principal es la documentación de la respuesta institucional al desastre de 1999, el abandono progresivo de la visión integral de la AUAEV, y el desempeño de las edificaciones modernas durante el evento de 2026. Su principal limitación es que se concentra en La Guaira, sin extender el análisis a otras regiones afectadas.

El autor describe el desastre de diciembre de 1999. Las lluvias continuas saturaron los suelos de las partes altas de las cuencas, redujeron la capacidad de sujeción de la capa vegetal y provocaron erosión, derrumbes y desprendimientos. Los materiales desprendidos se incorporaron a los cursos de agua, primero como sedimentos pequeños y luego como bloques de mayor tamaño. Al aumentar la proporción de sólidos, el flujo adquirió densidades superiores a 2 toneladas por metro cúbico, transformándose en flujos torrenciales capaces de transportar y hacer flotar grandes rocas.

Los desprendimientos más severos se produjeron durante la noche del 15 y la madrugada del 16 de diciembre. Los sedimentos se depositaron en los cauces y en los conos de deyección, alcanzando en algunos lugares espesores superiores a ocho metros. Se estima que se depositaron más de 20 millones de metros cúbicos de sedimentos. El evento evidenció que las mismas superficies atractivas para el desarrollo urbano

son precisamente las áreas donde se acumula históricamente el material transportado por las cuencas.

Las consecuencias inmediatas fueron de una escala extraordinaria. Aproximadamente 240.000 personas resultaron afectadas y unas 100.000 fueron evacuadas, dentro de una población estatal de alrededor de 350.000 habitantes. Se destruyeron unas 8.000 viviendas, equivalentes aproximadamente al 10% del parque habitacional. Cinco hospitales y ambulatorios sufrieron daños, colapsaron sistemas de aguas blancas y servidas y se destruyó cerca del 85% de la vialidad troncal. También resultaron afectados el puerto de La Guaira, el aeropuerto, instalaciones educativas y las actividades turísticas y recreativas. Una comisión del PNUD estimó los daños materiales inmediatos del orden de 5.000 millones de dólares de la época, equivalentes a unos 10.000 millones actuales.

El autor describe la respuesta institucional al desastre. El 5 de enero de 2000 se creó la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV), con la función de planificar la reconstrucción y el desarrollo urbano y la protección ambiental para la reducción de riesgos de desastres. La AUAEV reunió comisiones técnicas con cerca de 200 profesionales y desarrolló estudios climatológicos, hidrológicos y geológicos, análisis de cuencas, evaluación de la amenaza sísmica, estudios económicos y sociales, proyectos de vialidad y desarrollo urbano, recuperación del casco histórico de La Guaira, integración del puerto, desarrollo del aeropuerto, proyectos de control de torrentes, y mecanismos para promover el desarrollo inmobiliario. El esfuerzo de 2000 representó unas 220.000 horas de ingeniería. La reconstrucción se concebía como una acción multidisciplinaria, en la que la reducción del riesgo era inseparable del desarrollo económico, la calidad urbana y la protección ambiental.

El autor también analiza el abandono progresivo de esa visión. Una inspección realizada en 2003 por antiguos proyectistas de la AUAEV detectó modificaciones importantes: presas originalmente concebidas en concreto fueron sustituidas por gaviones, se observaron empotramientos insuficientes, cambios de alineamiento y abandono completo de criterios de desarrollo urbano. Estas modificaciones redujeron la seguridad prevista y se realizaron sin la aprobación de varios de los especialistas responsables de los proyectos iniciales. La controversia más importante se refiere a las presas abiertas de gaviones: los flujos de 1999 alcanzaron densidades superiores a 2 toneladas por metro cúbico y transportaron rocas de gran tamaño, condiciones en las que una estructura formada por gaviones puede experimentar flotación de sus componentes, rotura de las mallas, desplazamiento por impacto y deterioro acelerado. El rechazo internacional a los gaviones se manifestó en el Foro Internacional sobre Manejo de Cuencas Torrenciales realizado en diciembre de 2003, donde las delegaciones de Japón, Austria, Italia y España mostraron reservas claras frente a su uso en presas abiertas sometidas a impactos y abrasión.

El autor examina el desempeño deficiente de las obras durante las lluvias de febrero de 2005. A pesar de que las lluvias fueron del orden de aproximadamente un tercio de las ocurridas en 1999, dos presas de gaviones resultaron destruidas, hubo roturas de mallas y deterioros en Macuto y Galipán, las presas de Anare sufrieron destrucción, una estructura en Camurí Chico presentó socavación lateral y en El Cojo persistieron problemas de descarga y obstrucción. En contraste, las obras de Guanape retuvieron sedimentos adecuadamente. El episodio de 2005 confirmó que las deficiencias señaladas en 2003 no eran meramente teóricas y que la población continuaba expuesta.

El autor recoge la evaluación de 2019, veinte años después de la tragedia. La recuperación urbana fue muy limitada y, en gran medida, dependió de los esfuerzos individuales de habitantes, comerciantes y empresarios, sin que estuviera enmarcada en el plan de desarrollo territorial previamente preparado por la AUAEV. Muchos espacios que habían quedado disponibles para proyectos de transformación urbana fueron nuevamente ocupados de manera improvisada. Persistieron viviendas informales cerca de los cauces y se desarrollaron nuevas edificaciones sin una integración adecuada con servicios, paisaje, movilidad y reducción del riesgo. A los veinte años del desastre, el balance de la evaluación de la calidad y condición de las obras es mixto: se construyeron decenas de presas y cerca de treinta kilómetros de canalizaciones, pero una proporción importante de las presas es de gaviones, con el incremento del riesgo que esto representa. Algunas obras funcionaban adecuadamente, mientras otras estaban inconclusas, deterioradas, colmatadas o necesitaban reconstrucción. La respuesta operativa durante el evento de 2026 añadió una dimensión nueva a este balance. El colapso de las redes de telecomunicaciones generó una ceguera espacial en las primeras 72 horas. La producción de cartografía táctica impresa y la preservación activa de datos geoespaciales fueron necesarias para sostener las operaciones de búsqueda y rescate (González et al., 2026).

El autor analiza el terremoto del 24 de junio de 2026 y el desempeño de las edificaciones modernas. Documenta que el evento consistió en dos terremotos de magnitudes Mw 7,2 y Mw 7,5 separados por aproximadamente 39 segundos, clasificados por el USGS con alerta PAGER roja, con intensidades que alcanzaron aproximadamente el nivel IX de la escala de Mercalli. Documenta que las zonas más afectadas se encuentran localizadas muy cerca de la falla, y que la ruptura se propagó hacia el este a lo largo de la región centro-norte por unos 250 km. Documenta las consecuencias humanas: 6.509 fallecidos al 24 de agosto, más de 25.000 personas en campamentos, 1,8 millones de personas necesitadas de asistencia humanitaria. Documenta los daños económicos: las estimaciones del PNUD (6.700 millones de dólares), del Banco Mundial (19.600 millones) y de UNDRR (37.000 millones) reflejan distintas metodologías y momentos de evaluación.

El autor presta atención particular al desempeño de las edificaciones construidas por la Gran Misión Vivienda Venezuela, la OPPPE y el Urbanismo Hugo Chávez. Documenta que en el Urbanismo Hugo Chávez colapsó o sufrió daños severos aproximadamente el 80% de los 196 edificios, y que en los nueve urbanismos OPPPE de La Guaira colapsaron 16 de las 43 torres (37%) y las 27 restantes

quedaron inhabitables. El autor señala que una tasa de pérdida de esa magnitud en edificaciones de cuatro niveles y de construcción reciente es técnicamente significativa. Documenta también que una investigación de Alianza Rebelde Investiga reportó que en al menos cuatro de los conjuntos OPPPE se identificaron columnas cuyo refuerzo transversal de confinamiento presentaba estribos con dobleces de 90°, en contraste con los ganchos de no menos de 135° establecidos por la norma FONDONORMA 1753:2006. El autor enfatiza que este hallazgo constituye una posible deficiencia de detallado e inspección que debe evaluarse mediante estudios forenses antes de atribuirle una contribución causal específica a los colapsos observados.

El autor formula 23 lecciones y recomendaciones. Entre las más relevantes: la necesidad de investigaciones forenses independientes y transparentes antes de reconstruir; la preservación de evidencias antes de demoler; la realización de estudios de microzonificación sísmica en La Guaira; la revisión integral de las obras de control de torrentes; la recuperación de la red sismológica; y la actualización de la Norma COVENIN 1756-1:2019 con las lecciones del evento. El autor enfatiza que la reconstrucción no debe entenderse simplemente como la sustitución rápida de los edificios destruidos, sino como un proceso de aprendizaje que incorpore las lecciones obtenidas de los colapsos, revise los criterios de localización, mejore las normas de diseño, fortalezca los controles de calidad, recupere las capacidades técnicas de las instituciones y establezca sistemas permanentes de inspección, mantenimiento y prevención.

La respuesta al evento del 24 de junio de 2026 enfrentó una dificultad operativa: la magnitud de la catástrofe exigía una coordinación espacial precisa para dirigir las operaciones de búsqueda y rescate, pero el colapso del fluido eléctrico regional y la degradación de las redes de telefonía y fibra óptica impidieron la transmisión continua de datos georreferenciados desde el terreno. En las primeras 72 horas, los equipos de respuesta operaron bajo una "ceguera espacial" que dificultó la toma de decisiones tácticas y aumentó la exposición al riesgo del personal en campo.

"**Cartografía de respuesta rápida para la Gestión de Emergencias y Desastres: Uso de fuentes secundarias en la evaluación de daños del evento sísmico denominado Terremoto de La Guaira 24J, 2026" (González et al., 2026)** documenta cómo una red ad hoc de académicos, investigadores y profesionales vinculados al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Modelado Ambiental de la Universidad Simón Bolívar (LSIGMA-USB), la Universidad Central de Venezuela (UCV), la Universidad de Oriente (UDO) y la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill (UNC-CH) articuló una respuesta técnica para suplir esa carencia. La Serie Cartográfica de Respuesta Rápida evolucionó desde la versión inicial (V1), emitida el 28 de junio de 2026, hasta la versión 8 (V8), consolidada el 9 de julio de 2026, que alcanzó una producción de 526 mapas tácticos sectorizados a escala 1:3.000, integrados en mallas cuadriculadas de 590 m × 590 m en formato imprimible A4/Carta.

La metodología desarrollada se articuló en cuatro fases. La primera consistió en la adquisición y preservación de datos secundarios heterogéneos: la activación del servicio Copernicus EMS On-Demand Rapid Mapping (código EMSR884) por parte de la Comisión Europea, que generó 33 productos cartográficos en 7 regiones de evaluación; la integración del backend de código abierto de la plataforma ciudadana "Mapa de Daños Venezuela" como motor de crowdsourcing georreferenciado; la incorporación de los geoservicios REST/ArcGIS Online del Programa de Respuesta ante Desastres de Esri; y la utilización de datos de desplazamiento cortical derivados de la interferometría radar de la misión NASA-ISRO (NISAR), procesada por el Jet Propulsion Laboratory, que detectó vectores de deformación horizontal dextral de hasta 60 cm hacia el oeste en la franja litoral de Catia La Mar. La segunda fase consistió en el flujo de geoprocesamiento y estandarización SIG, adoptando la proyección UTM Zona 19N (EPSG:32619) y aplicando un protocolo de aseguramiento de calidad que incluyó la reconciliación geométrica cruzada entre las coordenadas del crowdsourcing y la huella de las estructuras de Google Open Buildings, con un umbral de error cuadrático medio (RMSE) de 15 m, así como la limpieza topológica de la capa vial y los polígonos de escombros. La tercera fase consistió en la adaptación escalar y la definición de la malla táctica: se adoptó la cuadrícula ortogonal de 590 m × 590 m definida por la ESA para el litoral de La Guaira y se extendió sistemáticamente sobre los centros urbanos de Miranda, Carabobo y el Distrito Capital, adaptando la salida cartográfica al formato A4/Carta a escala 1:3.000. La cuarta fase consistió en la producción cartográfica para entornos desconectados: los productos se distribuyeron en archivos PDF vectoriales simplificados (300 DPI, tamaño A4/Carta), lo que permitió su reproducción física mediante impresoras convencionales alimentadas por generadores portátiles y arreglos fotovoltaicos en los Centros de Operaciones de Emergencia (COE) y Puestos de Mando Avanzado.

La preservación activa de datos operó como una función de respuesta humanitaria. El 30 de junio de 2026, la base de datos de la plataforma ciudadana de origen sufrió un evento de vaciado crítico que redujo los registros activos de 926 a 109. La continuidad operativa de la Serie Cartográfica se garantizó mediante una copia de preservación mantenida de forma contigua desde el 25 de junio, que ejecutó una regla de unión antirregresión impidiendo la sobrescritura o supresión de datos. La API abierta fue republicada el 30 de junio a las 17:26 HLV, y al corte del 13 de julio el consolidado verificado sumó 782 reportes georreferenciados, 215 colapsos totales, 270 daños severos, 297 parciales y 4.458 fotografías, con la mayor densidad espacial en Caracas, 391 reportes y Caraballeda, 115 reportes. Sin este mecanismo, la componente ciudadana de la Serie V8 habría perdido más del 88% de sus registros georreferenciados. Este hallazgo evidencia que, en escenarios desestructurados, la preservación activa de datos no constituye un archivo pasivo, sino una función directa de respuesta humanitaria.

La dependencia de software propietario generó conflictos de interoperabilidad. La generación automatizada de las series de

mapas se basó en la funcionalidad Map Series de ArcGIS Pro; sin embargo, la brecha de acceso a licencias de uso privativo en Venezuela generó limitaciones operativas en el intercambio de datos vectoriales entre instituciones locales y organismos internacionales. Esta experiencia evidenció la necesidad crítica de priorizar estándares de software libre (FOSS) para garantizar la interoperabilidad técnica y eliminar las restricciones derivadas del licenciamiento. La auditoría técnica post-publicación, realizada con especialistas académicos en geodesia, teledetección y cartografía, precisó que las capas vectoriales utilizadas conservaron la georreferenciación pasiva preevento sobre el marco SIRGAS-REGVEN, por lo que registran discrepancias posicionales submétricas respecto al terreno deformado por el desplazamiento cosísmico. Si bien esta discrepancia es irrelevante para la navegación táctica y la asignación de cuadrantes ASR Nivel 2, impide el uso de esta serie para fines catastrales o de deslinde legal de parcelas.

El trabajo propone recomendaciones concretas para fortalecer la capacidad de respuesta del país. Propone la institucionalización del voluntariado técnico universitario mediante protocolos de respuesta que activen automáticamente al personal docente e investigador en geomática dentro de la estructura EDAN/USAR (Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades / Urban Search and Rescue) desde las primeras 6 horas post-evento; el despliegue de arquitecturas de datos espaciales contingentes con duplicación automatizada y descentralizada de las plataformas de reporte ciudadano; la capacitación de cuerpos de bomberos y Protección Civil en el uso del Grid Copernicus y la navegación en escalas urbanas de excepción operando mediante radiofrecuencia (VHF/UHF); y la utilización de estándares de software libre para garantizar la interoperabilidad técnica entre las instituciones nacionales y las agencias internacionales. La respuesta técnico-académica, articulada mediante redes autogestionadas, transformó datos heterogéneos en productos cartográficos operativos en pocos días. La cartografía impresa fue el único insumo que permitió sostener las operaciones de Búsqueda y Rescate Urbano cuando la infraestructura digital colapsó.

5.2. Marco institucional y planificación territorial

A continuación, se presenta nuevamente el trabajo titulado **"El terremoto de La Guaira" (López et al., 2026)**, abarcando su contenido relacionado con la respuesta institucional y la planificación territorial. El trabajo, elaborado por el Comité Técnico Asesor del Terremoto bajo la coordinación de la Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras (CPEHI), documenta la movilización del sistema nacional de evaluación de daños y habitabilidad tras el evento del 24 de junio de 2026.

La respuesta institucional generó el cuerpo de evidencia empírica más extenso del evento: 63.070 edificaciones inspeccionadas a nivel nacional, de las cuales 18% recibieron Etiqueta Roja, no habitables, y 24% Etiqueta Amarilla, habitables con restricciones. Los daños se concentraron en el estado La Guaira, con 5.490 edificaciones con Etiqueta Roja de un total de 17.264 evaluadas, equivalente al 31,8% del total inspeccionado en esa entidad. Esta concentración es consistente con la proximidad de las poblaciones del litoral a la ruptura tectónica y con los efectos de sitio documentados en los apartados precedentes.

La respuesta institucional se organizó en torno a un protocolo de tres fases. La Fase 1 consistió en la evaluación rápida de habitabilidad, con colocación de etiquetas Verde (acceso permitido), Amarilla (acceso restringido) y Roja (acceso no permitido), aplicando una metodología nacional desarrollada previamente por el IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, UCV) y FUNVISIS, adaptada de protocolos internacionales. La Fase 2 consistió en la evaluación detallada especializada de los casos críticos, con revisión de la etiqueta, recomendación de reparación, reforzamiento o demolición, y documentación de daños para investigación. La Fase 3 consiste en el desarrollo de los proyectos de reparación, reforzamiento o demolición, apoyados en los lineamientos técnicos elaborados por el propio Comité. El protocolo se articuló con la plataforma digital HABITABLE, desarrollada durante la primera semana posterior al evento, que centralizó la recopilación de datos, permitió la georreferenciación de las inspecciones y generó reportes en tiempo real para la toma de decisiones. La formación de cerca de 4.900 inspectores y la organización de centros operativos, jefes de zona y brigadas permanentes constituyen un caso de movilización institucional de gran escala que no tiene precedentes en la historia sísmica reciente del país.

El trabajo culmina con la elaboración de cuatro manuales de lineamientos técnicos para la estabilización mediante apuntalamiento, la evaluación y restitución de mampostería, la reparación de elementos de concreto reforzado con daño leve y moderado, y las consideraciones básicas para la actuación en caso de daño severo. Estos lineamientos, junto con la propuesta de una Norma Sismorresistente de Emergencia, constituyen la respuesta normativa más concreta y articulada generada por el evento. La propuesta de Norma Sismorresistente de Emergencia, descrita en el apartado 3.2, amplifica el espectro de respuesta por un factor de campo cercano, establece limitaciones para la construcción en zonas próximas a la falla de San Sebastián, aumenta las fuerzas de diseño de pórticos con paredes de relleno frágiles, exige anclajes pared-estructura y reduce las derivas admisibles para proteger la mampostería.

La respuesta institucional no se limitó a la evaluación de daños. Incluye la movilización de delegaciones internacionales (Stanford, Universidad del Norte de Colombia, Universidad de Chile, Portugal, Estados Unidos, China, Nueva Zelanda, Chile, Japón, Francia, México), la instalación de 14 hospitales de campaña con apoyo de embajadas y organismos internacionales, la participación de grupos USAR (Búsqueda y Rescate Urbano) de más de diez países, y la recolección de materiales para estudios de patología estructural en el IMME y FUNDALANAVIAL. Esta dimensión de la respuesta, aunque no es el núcleo del trabajo, evidencia que el evento del 24 de junio de 2026 movilizó una respuesta internacional de gran escala, y que la cooperación técnica y humanitaria jugó un papel relevante en la atención de la emergencia.

La respuesta al evento del 24 de junio de 2026 puso de manifiesto una dimensión de la gestión del riesgo que trasciende la caracterización física del fenómeno y la evaluación de los daños: la definición de las responsabilidades que competen a las alcaldías y concejos municipales en la gestión local del riesgo de desastres.

"Responsabilidades e incertidumbres en torno a la gestión municipal de los riesgos socionaturales y tecnológicos" (Estévez, 2026) aborda esta dimensión desde una perspectiva normativa, institucional y propositiva, y formula un modelo estructurado de Plan de Gestión Local de Riesgos. El autor parte de una constatación histórica: los cuatro últimos eventos desastrosos que han ocurrido en Venezuela en los últimos sesenta años, el terremoto de Caracas de 1967, el terremoto de Cariaco de 1997, las crecidas torrenciales y flujos de detritos que sepultaron parte del Municipio Vargas en diciembre de 1999, y los terremotos de La Guaira del 24 de junio de 2026, no fueron eventos inesperados. En el caso de Cariaco, el oriente de Venezuela ha sido reiteradamente afectado por terremotos destructores en 1530, 1684, 1766, 1797, 1853 y 1929, todos ellos bien descritos y probablemente asociados a la Falla del Pilar. En el caso de Vargas, desde el informe presentado el 15 de febrero de 1798 por Don Juan Nepomuceno de Pedroza, Oidor de la Real Audiencia de Caracas, hasta las observaciones que en 1950 hiciera el Dr. Eduardo Rohl, director del Observatorio Cajigal, se han reseñado decenas de crecidas torrenciales como la ocurrida en 1999. Esta recurrencia histórica plantea una pregunta central para la gestión del riesgo: si los eventos eran conocidos y los especialistas habían advertido repetidamente sobre la amenaza, ¿por qué no se tomaron las medidas preventivas? La respuesta, según el autor, remite a una concepción de los desastres como castigos divinos o fenómenos naturales inevitables, frente a los cuales la sociedad se percibía impotente.

El trabajo describe el cambio de paradigma que se produjo a partir de la última década del siglo XX, cuando se entendió que los desastres se deben no solo a la magnitud de los fenómenos naturales o sociales que los generan (las amenazas), sino también al nivel de predisposición que tienen los asentamientos humanos a ser afectados y sufrir daños (la vulnerabilidad). Los desastres dejaron entonces de considerarse "naturales" y pasaron a ser productos sociales que se gestan al definir formas de ocupación territorial que ignoran las previsiones que cada tipo de amenaza demanda. Esta nueva concepción generó un cambio de paradigma: los desastres no son inevitables y pueden minimizarse en la medida en que se aprenda a reducir las vulnerabilidades, construyendo obras más resistentes a las amenazas presentes, en sitios donde su impacto sea el menor posible, y mejorando la resiliencia de las ciudades y sus pobladores. La responsabilidad de las sociedades pasó de solo prepararse para responder apropiadamente frente a la ocurrencia de un desastre, a tratar de evitar la construcción de condiciones de riesgo mediante medidas de prevención y mitigación adecuadas a los planes de desarrollo y a la práctica cotidiana de los organismos y las personas encargados de ejecutarlos.

El autor ilustra la cadena de responsabilidades compartidas con el caso de los 35 niños fallecidos en las escuelas colapsadas de Cariaco, construidas prácticamente encima de la Falla del Pilar. Su análisis plantea una serie de preguntas que diseccionan la cadena de responsabilidades: ¿no serán responsables los arquitectos e ingenieros que diseñaron y calcularon la escuela sin considerar apropiadamente la amenaza sísmica presente en el lugar? ¿Qué hay del alcalde y los concejales que permitieron su construcción en una zona de reconocido y bien documentado riesgo sísmico? ¿O serán responsables los funcionarios de FEDE, encargados de la construcción y mantenimiento de escuelas en el país? ¿Y por qué no culpar al Ministerio de Educación, responsable de planificar todo lo relativo a las instalaciones de instrucción pública? ¿Y el director y los maestros de esas escuelas no son responsables por ley de garantizar la seguridad de los estudiantes en su plantel? ¿Y los padres de los niños están libres de culpa por no haberse preocupado de si sus hijos estaban asistiendo a unas instalaciones educativas seguras? La conclusión del autor es que todos en esta cadena comparten la responsabilidad por la muerte de esas 35 criaturas. Esta disección de la cadena de responsabilidades es un aporte conceptual porque evidencia que los desastres no son el producto de una única falla, sino de una acumulación de omisiones institucionales y profesionales que la ley está llamada a sancionar.

El trabajo expone el marco legal que establece las responsabilidades de los funcionarios públicos y profesionales en la generación de escenarios de riesgo. La Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009) establece en su Artículo 59 que todo funcionario público que otorgue permisos, licencias, concesiones o autorizaciones para la construcción de cualquier obra de infraestructura en zonas declaradas de riesgo, o que contribuya de algún modo a generar situaciones de riesgo o desastre, será sancionado con multas de mil a cinco mil unidades tributarias. El Artículo 60 establece que toda persona natural o jurídica que construya o promueva la construcción en zonas declaradas de riesgo, con inobservancia de las variables urbanas y de los planes de desarrollo local, o que promueva la reconstrucción de viviendas destruidas en zonas declaradas de riesgo, será sancionada con la demolición de lo construido y multa de cien a diez mil unidades tributarias. El Artículo 26 establece que en toda edificación en la que funcionen dependencias o servicios públicos se deberán desarrollar esfuerzos para caracterizar y mitigar sus respectivos niveles de amenaza y vulnerabilidad, siendo responsabilidad de las instituciones a cargo de cada uno de estos espacios coordinar e instrumentar las acciones requeridas. El Artículo 45 establece que todos los órganos y entes del Estado deben incluir en su previsión presupuestaria recursos para la formulación y ejecución de proyectos y actividades dirigidas a dar cumplimiento a la política nacional de gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos.

El autor formula un modelo estructurado de Plan de Gestión Local de Riesgos, integrado por cinco componentes. El diagnóstico profesional es el primer componente. Debe identificar, caracterizar y jerarquizar las amenazas, el nivel de exposición, las vulnerabilidades y los riesgos locales más significativos. Este diagnóstico incluye la caracterización de las

amenazas más significativas (fenómenos hidroclimáticos extremos, movimientos de masa, terremotos y amenazas tecnológicas) con estimación de probabilidades de excedencia de valores tolerables máximos de intensidad en ventanas de tiempo futuro (25, 50, 100 años) y microzonificación sísmica para evitar fenómenos de resonancia y efectos de sitio en construcciones de viviendas. Incluye también la evaluación de la vulnerabilidad física y social de las líneas vitales, edificaciones esenciales, educativas, patrimoniales, religiosas, de salud, vialidad y viviendas; la estimación y zonificación de la susceptibilidad de los terrenos donde existen o se construirán obras civiles; la traducción de los productos profesionales del diagnóstico a formatos comprensibles por el sector político, público, privado y tomadores de decisiones, incorporando mapas en PDF de alta resolución con semaforización de tres colores para normar ordenanzas municipales de ocupación y uso del suelo; la evaluación de la vulnerabilidad operativa e institucional mediante planes de contingencia que garanticen la continuidad operativa post-desastre de hospitales, centros de mando, bomberos, depósitos de insumos vitales y líneas de vida; la valoración de la vulnerabilidad socioeconómica y la capacidad de recuperación comunitaria; la zonificación de elementos expuestos mediante el mapeo de densidad poblacional, líneas vitales, edificaciones e infraestructura; y la elaboración de mapas multiamenazas y la estimación matemática del riesgo como la probabilidad de daño en función de la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición.

Las medidas prospectivas constituyen el segundo componente. Pretenden evitar la construcción de nuevos riesgos mediante el ordenamiento territorial basado en los planes de desarrollo sostenible y resiliente, la microzonificación sísmica y geotécnica, los escenarios de riesgo, la conservación de la vivienda y del hábitat, y la vulnerabilidad social asociada. Incluye también el marco jurídico municipal mediante ordenanzas que obliguen a la evaluación de riesgos en todo nuevo proyecto público o privado y que establezcan sanciones a los infractores; y los programas educativos de formación de profesionales y técnicos en el área, cursos cortos de diplomados y maestrías en gestión de riesgos, capacitación a comunidades e instituciones para la prevención y manejo de emergencias y desastres, incorporación de la gestión de riesgos en los planes educativos de la escolaridad básica y del bachillerato, y evaluación de las instituciones educativas con prácticas de desalojo de emergencia.

Las medidas correctivas conforman el tercer componente. Están dirigidas a corregir o mitigar las vulnerabilidades y amenazas existentes mediante obras civiles de mitigación (reforzamiento estructural de túneles y puentes, estabilización de taludes, canalización de cauces y reforestación), la adecuación normativa para obligar a propietarios e instituciones a evaluar y corregir vulnerabilidades en inmuebles existentes, y la capacitación técnica para la ejecución de obras de mitigación a nivel comunitario e institucional.

Las medidas reactivas integran el cuarto componente. Preparan para enfrentar eventos mayores mediante la implementación de planes EDAN en municipios y parroquias, con procedimientos para la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades y entrenamiento de alcaldes y prefectos; la dotación de salas situacionales municipales y parroquiales en coordinación con Protección Civil, Bomberos y Ejército; la elaboración de planes de emergencia municipales, parroquiales, comunitarios y familiares; la coordinación de redes y planes de apoyo hospitalario, rescate, triaje, albergues y suministros de emergencia; la instalación de sistemas de alerta temprana para crecidas torrenciales y movimientos de masa; la asignación presupuestaria permanente mediante un fondo especial de emergencia; y el aseguramiento de bienes municipales mediante pólizas contra terremotos y otras amenazas, acompañadas de simulacros periódicos.

El plan de rehabilitación resiliente cierra el modelo como quinto componente. Debe garantizar el restablecimiento inmediato de las líneas vitales (suministro de agua potable, electricidad, gas, telecomunicaciones, internet, atención médica y hospitalaria, suministro de medicinas, alimento y abrigo, vialidad, incluyendo puentes y túneles) y de las edificaciones esenciales (hospitales, instalaciones educativas y patrimoniales, oficinas públicas).

Estévez (2026) propone un marco normativo y metodológico que no se aplica específicamente al evento del 24 de junio de 2026 ni evalúa el desempeño de las alcaldías durante la emergencia. Sin embargo, ofrece el marco institucional y legal para comprender por qué la respuesta municipal fue deficiente y qué debería hacerse para fortalecerla. El autor cita el caso de Manizales, Colombia, donde las proposiciones adelantadas y coordinadas por la gestión local del riesgo permitieron una respuesta eficaz durante el último gran terremoto de Colombia. Este ejemplo demuestra que la gestión municipal del riesgo no es una utopía, sino una práctica posible que requiere voluntad política, capacidad técnica y continuidad institucional.

La recuperación de un territorio afectado por un desastre sísmico de gran magnitud no se agota en la reconstrucción de la infraestructura física ni en la actualización de la normativa sismorresistente. Requiere, además, abordar la dimensión humana de la recuperación: el estado psíquico, orgánico y relacional de los habitantes del territorio, y el capital conductual de la población civil y la fuerza laboral.

"Rediseño Urbano y Continuidad de Operaciones Post-Sismo en el Eje Caracas - La Guaira: Un Modelo de Prospectiva Territorial Basado en el Control de Intangibles y Sintonización Neurofisiológica" (Caraballo, 2026). Se aborda esta dimensión desde una perspectiva transdisciplinaria que articula la planificación prospectiva, la antropología del desastre y la neurobiología de la percepción temporal, y formula un enfoque estratégico estructurado en tres fases secuenciales e interdependientes.

El autor parte de una constatación fundamental: los modelos de control técnico tradicionales de carácter lineal, que reducen la respuesta a un cálculo de variables físicas y volumétricas, fallan estructuralmente al intentar procesar la crisis bajo una lógica estrictamente mecanicista y predictiva. Esta simplificación metodológica ignora un factor crítico que

determina la viabilidad de cualquier plan de recuperación: el capital conductual y el estado de shock pasivo, pánico crónico e impotencia en el que se encuentra la población civil y la fuerza laboral. El autor sostiene que el dogma convencional de la "reconstrucción lineal", entendido como la inercia técnico-política de levantar exactamente las mismas tipologías de edificación e infraestructura sobre fallas geológicas activas, limitándose a rigidizar los materiales constructivos, resulta financieramente inviable, biológicamente hostil y estratégicamente estéril si no se estabiliza de forma simultánea la dimensión psíquica, orgánica y relacional de los habitantes del territorio. Esta tesis, aunque formulada en un lenguaje que se aparta de los estándares de la ingeniería civil y la sismología tradicional, plantea una pregunta central: ¿puede la reconstrucción de un territorio reducirse a la reposición de la infraestructura física sin atender al estado de la población que la habita?

La primera fase del modelo, denominada "Diagnóstico de Impacto Humano y Gestión de la Incertidumbre Crítica", se articula mediante un protocolo de auditoría de campo y análisis del observador interno. Esta fase realiza un levantamiento sistemático de las fracturas relacionales, psicológicas y emocionales de la estructura social, identificando y decodificando las microtensiones comunitarias para proveer a las agencias de Protección Civil una cartografía de viabilidad humana que permita intervenir proactivamente antes de que el trauma derive en dinámicas de anomia social o ingobernabilidad urbana. El autor documenta que la desocupación forzosa de las torres financieras y corporativas en el eje Chacao-Altamira no solo visibiliza la vulnerabilidad de la infraestructura física, sino el colapso latente del modelo de gestión de riesgos tradicional, que asumió el control técnico absoluto sobre el territorio sin integrar la memoria y las restricciones de la geografía local. Esta fase de diagnóstico inmersivo actúa como una auditoría de riesgos intangibles, y su aporte más valioso es el reconocimiento de que la respuesta a un desastre no puede limitarse a la dimensión física.

La segunda fase, denominada "Prospectiva Estratégica", configura el escenario de continuidad de operaciones y rediseño urbano mediante la co-construcción de un escenario deseable denominado "Caracas Resonante". Este escenario desplaza el paradigma del desarrollo urbano enfocado en la prioridad del automóvil, la concentración demográfica vertical y las torres de cristal tradicionales, y sitúa en el centro neurálgico del diseño al Waraira Repano (El Ávila) y decreta la preservación absoluta de sus cuencas hídricas, utilizándolas como corredores naturales de evacuación, amortiguación ambiental y ejes de conectividad segura. El modelo propone la transición urbana hacia estructuras modulares de baja altura y carácter dinámico, rompiendo con el principio mecanicista tradicional de intentar resistir el movimiento telúrico mediante la fuerza de materiales rígidos, y adoptando los principios de flexibilidad y elasticidad biomimética. Esta propuesta de rediseño urbano, aunque formulada en términos prospectivos, converge con las recomendaciones de otros trabajos sobre la necesidad de adaptar la función urbana al nivel de amenaza y de evitar la repetición de los patrones de ocupación vulnerable del pasado.

La tercera fase, denominada "Implantación Operativa y Gobernanza Territorial Autónoma", introduce los criterios de diseño bioacústico en los manuales técnicos de ingeniería y normativas de desarrollo urbano, moviliza el capital humano mediante matrices de comunicación y liderazgos arquetípicos, y produce referencias culturales, hitos y señaléticas que validen la permanencia y adaptabilidad del nuevo modelo urbano. El autor propone traducir los principios de sintonía neurofisiológica al lenguaje formal de la ingeniería de seguridad, la salud ocupacional y el urbanismo preventivo bajo el marco conceptual de "Mecanismos de señalética háptica y sónica para la gestión, mitigación e inducción de flujos humanos en entornos de alta densidad". Esta estrategia de "traducción regulatoria" busca insertar los protocolos en los manuales oficiales de Protección Civil y en las ordenanzas municipales.

El trabajo se apoya en la antropología del desastre para articularla con la planificación prospectiva. Los estudios sobre culturas locales y desastres señalan que el error histórico del estamento institucional e ingenieril en América Latina ante catástrofes, como los deslaves de Vargas de 1999, radica en subvalorar la vivencia psicológica y el saber del "observador interno" (el habitante del territorio). Las agencias tradicionales aíslan el desastre reduciéndolo de forma exclusiva a variables físicas euclidianas y estructurales. El autor retoma esta crítica para proponer la integración de la Contabilidad Global de los Intangibles, que permite a los equipos humanos de planificación inventariar, tasar y activar el capital intangible latente: la resiliencia comunitaria, el saber tradicional y la coherencia biológica colectiva. El trabajo también se apoya en la neurobiología de la percepción temporal y en métodos de prospectiva estratégica para fundamentar su enfoque.

El trabajo de Caraballo plantea integrar el capital conductual y la estabilización psíquica en la planificación de la reconstrucción, un componente que no suele recibir atención en los enfoques técnicos convencionales. El propio autor reconoce que su propuesta "no pretende sustituir los diagnósticos estructurales de la ingeniería civil dura o de la sismología tradicional, sino integrarse a ellos", y plantea traducir los principios de sintonía neurofisiológica al lenguaje formal de la ingeniería de seguridad, la salud ocupacional y el urbanismo preventivo. La articulación entre estos conceptos y la práctica de la ingeniería sismorresistente es un campo en construcción, y su desarrollo requerirá validación empírica en contextos de respuesta a desastres sísmicos. El trabajo señala una dimensión de la recuperación que trasciende la reposición de infraestructura: el estado psíquico, orgánico y relacional de los habitantes del territorio afectado. La gestión del riesgo no es un problema solamente técnico o de ingeniería; es también un problema de gobernanza. La transición desde el modelo clásico burocrático hacia un paradigma que involucre horizontalmente al Estado, la sociedad civil y el sector privado es indispensable para que la reconstrucción no reproduzca las vulnerabilidades preexistentes (Oviedo, 2026).

6. DIMENSIÓN SOCIAL, EDUCATIVA, HISTÓRICO-CULTURAL Y ECONOMÍA DEL RIESGO

La dimensión humana de la recuperación, señalada al cierre de la sección anterior, conduce al análisis de la dimensión social, educativa, histórico-cultural y económica del riesgo sísmico. El evento del 24 de junio de 2026 no solo puso a prueba la infraestructura y la normativa; también evidenció la importancia de las representaciones sociales, la educación ciudadana, la gobernanza institucional y la protección financiera como componentes de la gestión integral del riesgo. Estos factores condicionan la percepción del riesgo, la efectividad de las medidas técnicas y la capacidad de recuperación de las comunidades afectadas.

6.1. Cultura, patrimonio y memoria del riesgo

"Aproximación a la hagiografía sísmica de Venezuela" (Rodríguez et al., 2026) aborda las respuestas religiosas ante los terremotos desde una perspectiva histórica y cultural, documentando las devociones que han sido investidas como protectoras contra los sismos. La dimensión cultural del riesgo sísmico comprende las representaciones sociales, las prácticas religiosas y los imaginarios colectivos que las comunidades han construido para interpretar y enfrentar los terremotos. Su estudio es esencial para comprender por qué las sociedades responden de determinada manera ante la amenaza y para diseñar estrategias de educación y comunicación culturalmente pertinentes. El trabajo se sustenta en fuentes históricas primarias y secundarias, y establece conexiones con la sismología histórica y la gestión del riesgo. Su aporte principal es demostrar que las respuestas religiosas constituyen un componente esencial del imaginario sísmico y de la percepción del riesgo, y que su comprensión es necesaria para diseñar estrategias de educación y comunicación del riesgo culturalmente pertinentes.

La investigación parte de una constatación fundamental: en Latinoamérica, la relación sociedad-naturaleza estuvo mediada durante los tres siglos de la Colonia por la Iglesia, y esa visión del orden universal como producto de la voluntad de Dios, que incluye la interpretación de los fenómenos naturales y de los desastres, aún no ha sido desarraigada de las mentalidades y de las culturas. Las devociones antisísmicas son las prácticas religiosas mediante las cuales las comunidades invocan a santos y advocaciones marianas como protectores contra los terremotos. Los terremotos, en particular, han sido interpretados con frecuencia como signos de la cólera divina, como castigos por haber abandonado la obediencia al Señor, o como manifestaciones de la acción de Satanás. Esta interpretación mágico-religiosa ha generado un amplio repertorio de respuestas que incluyen procesiones, misas, rogativas, oraciones, exvotos, el bautizo de los sismos con el nombre del santo en cuyo día ocurre el evento, y la elección de patronos antisísmicos.

El trabajo reconstruye con rigor histórico los principales casos de la hagiografía sísmica venezolana. El terremoto de San Bernabé del 11 de junio de 1641, el primer terremoto documentado en la historia de Caracas, es descrito en una carta del rey Felipe IV al gobernador Ruy Fernández de Fuenmayor, quien había traído consigo a miembros de la Orden Mercedaria para fundar un convento en la ciudad. La relación entre la fundación del convento y el terremoto ilustra cómo los eventos sísmicos fueron utilizados para justificar la presencia de órdenes religiosas y para consolidar devociones. El terremoto de Santa Úrsula del 21 de octubre de 1766 marcó un hito en la devoción a Nuestra Señora de las Mercedes, que pasó de ser patrona de los cultivadores de cacao a ser proclamada "Abogada de los Terremotos" por el Cabildo de Caracas.

El terremoto del 26 de marzo de 1812, que destruyó Caracas y otras ciudades, generó una profunda división entre monárquicos e independentistas, quienes interpretaron el evento como un castigo divino o como una señal de la voluntad de Dios. La documentación de estas interpretaciones, que incluye las palabras del arzobispo Narciso Coll y Pratt, "espantoso, pero bien merecido terremoto", y del patriota Rafael León, "Dios manifestó patentemente su voluntad destruyendo hasta las casas", evidencia cómo el fenómeno sísmico fue utilizado políticamente por ambos bandos.

El trabajo también examina las devociones marianas y los santos que han sido invocados como protectores contra los terremotos. Nuestra Señora de las Mercedes, cuya devoción se remonta a 1766 y se prolonga hasta 1812, fue invocada nuevamente en 1900 en Río Chico. La Virgen del Rosario de San Jacinto, más conocida como Nuestra Señora de los Terremotos, cuya imagen se encuentra en la Iglesia de Altagracia, fue objeto de culto caraqueño y se le mantuvo misa votiva y tradicional con las preces del día del sismo. San Emigdio, apóstol y mártir germano, es invocado como "abogado de los temblores" y se le dedicó una iglesia en San Pedro de Capacho, estado Táchira. San Roque, San Felipe y San Bartolomé también aparecen en el santoral antisísmico venezolano, aunque con connotaciones diversas. La Virgen de Regla, en Tovar, estado Mérida, es asociada al terremoto del 28 de abril de 1894, conocido como el Gran Terremoto de los Andes. El Señor de los Milagros, venerado en Perú, fue introducido a Venezuela como el Cristo de Pachacamilla o Cristo Moreno. El Santo Cristo de La Grita, cuya devoción se construyó por causas del terremoto de 1610, es otro ejemplo de la diversidad de devociones.

Este trabajo muestra que las respuestas religiosas no son un fenómeno anecdótico o supersticioso, sino un componente del imaginario sísmico y de la percepción del riesgo. La forma en que una sociedad interpreta y responde a los terremotos condiciona su nivel de vulnerabilidad. Las devociones antisísmicas, las procesiones y las rogativas no solo expresan una cosmovisión religiosa; también revelan la necesidad de las comunidades de encontrar sentido y protección frente a un fenómeno que perciben como incontrolable. Comprender estas representaciones es esencial para diseñar estrategias de educación y comunicación del riesgo culturalmente pertinentes, que reconozcan y dialoguen con las creencias y prácticas existentes.

El trabajo concluye con una reflexión sobre la necesidad de una investigación multidisciplinaria que articule la sismología y la historia, y que permita elaborar un catálogo de las devociones

antisísmicas en Venezuela. Los autores señalan que un estudio detallado a nivel local, municipal y estadal podría dar luz sobre la cantidad de santos y devociones que han sido investidos con cualidades antisísmicas, e incluso sobre aquellas que, atribuyendo cualidades mágico-religiosas, carecen de ellas y han pasado de unos a otros por mera tradición oral. Esta línea de investigación, apenas iniciada, abre un campo de estudio de gran relevancia para la comprensión de la vulnerabilidad social y para el diseño de estrategias de reducción del riesgo culturalmente sensibles.

"Vulnerabilidad estructural y desafíos de conservación en el patrimonio religioso de Venezuela: lecciones y evaluaciones tras el evento sísmico del 24 de junio de 2026" (Balza y Montecalvo, 2026). Este trabajo reporta la evaluación de 51 templos en las diócesis de Caracas, La Guaira y Petare, de los cuales 42 sufrieron afectaciones de mediana a muy alta gravedad. La vulnerabilidad del patrimonio religioso ilustra cómo las dimensiones culturales y estructurales del riesgo se entrelazan. Los templos históricos no solo son espacios de culto y memoria colectiva; son también edificaciones frágiles, construidas con técnicas antiguas que no resisten las solicitaciones sísmicas modernas. Su aporte principal es la caracterización de los patrones de falla en edificaciones patrimoniales construidas con técnicas antiguas (mampostería no reforzada, tapia, ladrillo macizo y calicanto) y la identificación de los mecanismos que amplificaron los daños: la ausencia de diafragma rígido en techos, el comportamiento dinámico de elementos esbeltos, la incompatibilidad entre refuerzos históricos de distinta rigidez y la degradación acumulada por falta de mantenimiento. El trabajo se encuentra en las fases 2 y 3 de un plan de cinco fases, por lo que sus conclusiones son preliminares.

El patrimonio religioso constituye un caso particular de vulnerabilidad estructural que combina la fragilidad de las técnicas constructivas antiguas con el valor histórico y cultural de las edificaciones. La evaluación de 51 templos en las diócesis de Caracas, La Guaira y Petare documenta que 42 de ellos sufrieron afectaciones de mediana a muy alta gravedad, con una concentración crítica en La Guaira, donde el 100% de las edificaciones evaluadas presentaron daños graves o muy graves (Balza y Montecalvo, 2026). La mayoría de estos templos fueron construidos antes del terremoto de 1967 y carecen de criterios sismorresistentes modernos. Sus muros portantes de mampostería no reforzada, tapia o ladrillo macizo resisten bien los esfuerzos de compresión vertical, pero se comportan de manera frágil ante esfuerzos horizontales. La geometría agrava esta vulnerabilidad: torres de campanario esbeltas sin arriostramiento, cúpulas y bóvedas pesadas en las zonas altas, y fachadas exentas de la estructura de la nave.

El análisis de los mecanismos de daño revela cuatro patrones recurrentes. El primero es el efecto del doblete sísmico sobre materiales y sistemas constructivos antiguos: la mampostería estructural, caracterizada por baja resistencia a la tracción, sufrió un agrietamiento inicial que redujo su rigidez lateral, y el segundo evento actuó sobre estructuras ya degradadas, acelerando los mecanismos de colapso local y provocando el desprendimiento de revestimientos ornamentales pesados. A este se suma el comportamiento dinámico de elementos exentos y esbeltos: la amplificación topográfica y geométrica en torres, cúpulas y frontones duplicó o triplicó las aceleraciones de la base, generando fallas en las uniones de estructuras adosadas, grietas por torsión y volcamiento potencial de cornisas y pináculos. La ausencia de diafragma rígido en techos constituye el tercer patrón: las cubiertas de madera simplemente apoyadas sobre los muros portantes funcionan como diafragmas flexibles, lo que permitió que cada muro vibrara de forma independiente, causando grietas longitudinales en las claves de los arcos y empujes hacia el exterior que amenazaron con el desplome de las paredes laterales. Cierra el conjunto la incompatibilidad entre refuerzos históricos de distinta rigidez: las reparaciones realizadas tras los sismos de 1812, 1900 y 1967 combinaron elementos originales de mampostería con vigas de acero y concreto armado, y la concentración de esfuerzos en estos elementos más rígidos hizo colapsar los elementos de mampostería a los que estaban adosados, como ocurrió en la fachada de la Iglesia de San Sebastián en Maiquetía.

Los seis casos de estudio detallan estos mecanismos. La Catedral de Caracas, edificio neoclásico de cinco naves con una cúpula sobre el altar mayor, sufrió fracturas en la torre campanario, fallas en la techumbre de la nave lateral izquierda por separación de apoyos, desplazamiento del muro portante de la Capilla San Pedro con amenaza de colapso de la techumbre mudéjar, y agrietamiento en arcos y bóvedas. La Rectoría de Nuestra Señora de la Merced, con muros portantes de tapia y torretas de ladrillo macizo, presentó una grieta de 7,5 cm en la torre sur-este, con peligro de colapso, y deformación de los marcos de las puertas principales. La Iglesia de San José de Ñaraulí, en Cotiza, sufrió el colapso total de la cubierta de madera de la nave derecha y parcial de la nave izquierda, con vigas de madera que tenían apoyos menores a 8 cm y graves problemas de humedad; las torres de fachada, construidas solo con ladrillos macizos sin elementos estructurales, quedaron en compromiso estructural total. La Catedral de La Guaira presentó fallas por flexión de extremo en una de sus columnas, con fractura y pérdida de material en la parte superior, y agrietamiento en las partes superiores e inferiores del resto de las columnas. La Iglesia de San Sebastián de Maiquetía sufrió el colapso total de la fachada en las secciones correspondientes a la nave izquierda y central, y la torre del campanario se fracturó en cuatro partes. La Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria de Tarmas perdió aproximadamente una cuarta parte del techo de la nave única, el contrafuerte generó una grieta con el muro portante, y la fachada se separó de los muros de la nave.

Los autores proponen un plan de acción de cinco fases: evaluación rápida, evaluación detallada, elaboración de proyectos, ejecución de la reconstrucción y seguimiento, y proponen lineamientos de intervención que armonicen la arquitectura y la estructura. Entre las técnicas compatibles con edificios patrimoniales se incluyen la inyección de resinas epóxicas, la cal hidráulica en grietas de mampostería, los morteros de alta permeabilidad, los tensores ocultos y las mallas de fibra de carbono.

El trabajo concluye con tres hallazgos principales. El primero es que la ausencia de planes de mantenimiento y la dilatación de los mantenimientos básicos expusieron los efectos del doblete sísmico. El segundo muestra que la escasa información planimétrica precisa de los templos obligó a realizar levantamientos específicos, lo que evidencia una carencia de documentación técnica que dificulta la planificación de intervenciones. El tercero revela que los refuerzos estructurales se limitaron a las partes dañadas y no a la edificación en su totalidad, lo que provocó que partes reforzadas dañaran partes no reforzadas. La lección es que las edificaciones patrimoniales deben comprenderse como una unidad a reforzar, y que su conservación requiere un plan nacional de gestión de riesgos, normas especiales de mantenimiento preventivo y estudios sobre el comportamiento sísmico de estructuras de mampostería antigua en Venezuela.

El trabajo aborda un aspecto del patrimonio construido que no había sido tratado en los apartados anteriores y articula la vulnerabilidad estructural con los desafíos de conservación del patrimonio histórico. Demuestra que la conservación del patrimonio no es solo una cuestión de valor histórico o cultural, sino también de seguridad estructural, y que las estrategias de intervención deben armonizar la autenticidad arquitectónica con las exigencias irrenunciables de la seguridad estructural y la resiliencia urbana. La ausencia de estudios sobre el comportamiento sísmico de estructuras de mampostería antigua en Venezuela abre un campo de investigación de gran relevancia para la reducción del riesgo en el patrimonio construido.

6.2. Educación y gobernanza del riesgo

"De la memoria sísmica a la educación sísmica: cómo actuar y aplicar protocolos de protección personal. Lecciones tras los sismos del 24/06/2026" (Mariño, 2026). Este trabajo articula la memoria sísmica con la educación y formula protocolos de actuación ciudadana en tres fases: antes, durante y después del sismo. La educación sísmica y la preparación ciudadana constituyen la base sobre la cual se sostienen las demás medidas de reducción del riesgo. De poco sirve una infraestructura resistente si la población no sabe cómo actuar durante un sismo; de poco sirven los protocolos de protección civil si no se interiorizan mediante la práctica sistemática. Su aporte principal es la articulación de la memoria sísmica con la educación sísmica, y la formulación de protocolos de actuación ciudadana en tres fases: antes, durante y después del sismo. El trabajo analiza la vulnerabilidad de la infraestructura escolar, con antecedentes como el colapso de dos planteles durante el terremoto de Cariaco de 1997, y propone reactivar el "Plan Nacional de Prevención ante la Amenaza Sísmica para Edificaciones Educativas". De igual modo, introduce el cambio de paradigma sobre la amenaza sísmica en el Escudo de Guayana, a partir de la evidencia de sismicidad de profundidad intermedia y de atenuación anómala en Ciudad Bolívar y Ciudad Guayana, lo que hace prioritaria la revisión de la norma COVENIN 1756-1:2019 para esa región. Su principal limitación es que algunas de sus propuestas, como el Consejo Interinstitucional, son prescriptivas y no han sido implementadas; sin embargo, su contribución es valiosa porque documenta la dimensión educativa del riesgo y formula recomendaciones concretas.

La memoria sísmica de una nación no se construye únicamente sobre la magnitud de sus terremotos o el registro instrumental, sino sobre la capacidad colectiva de aprender de ellos y transformar la vulnerabilidad en cultura de prevención. El trabajo señala que la interacción entre las placas del Caribe y Sudamericana expone a cerca del 80% de la población venezolana a una elevada amenaza sísmica, concentrada en una franja norte de 100 a 110 km de ancho donde se ubican los principales centros urbanos, industrias e infraestructuras del país. Los eventos del 24 de junio de 2026, con su sucesión crítica de dos terremotos destructivos, reafirmaron que la mejor herramienta de ingeniería y gestión de riesgo pierde efectividad si la ciudadanía desconoce cómo reaccionar en el momento crítico.

La infraestructura escolar representa un punto de atención crítico. Antecedentes históricos revelan que unos 30 eventos sísmicos habían causado daños sustanciales en al menos 592 edificaciones escolares antes del 24 de junio de 2026. El terremoto de Cariaco de 1997, con magnitud 6,9 Mw, evidenció la fragilidad de tipologías constructivas como el "Cajetón MOP-MINDUR" y el diseño "Antiguo I", que sufrieron colapsos por aplastamiento de planta baja y causaron la muerte de 23 estudiantes y profesores. Tras ese evento se creó el "Aula Sísmica Madeleilis Guzmán", un programa socioeducativo para la formación en gestión de la amenaza sísmica y autoprotección. El trabajo recomienda retomar el "Plan Nacional de Prevención ante la Amenaza Sísmica para Edificaciones Educativas" y ejecutar planes masivos de mitigación estructural y no estructural, incluyendo la fijación o reubicación de estanterías y bibliotecas pesadas y la eliminación de cargas pesadas en altura. La evaluación de vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar es prioritaria: no basta con saber qué hacer durante un sismo si la estructura física colapsa.

Los protocolos de actuación ciudadana se organizan en tres fases. Antes del sismo, la preparación familiar debe contemplar la definición de un punto de encuentro en un área abierta y despejada, la ubicación estratégica de las llaves del hogar cerca de la puerta de salida y la preparación de una mochila de emergencia para 72 horas con agua, alimentos no perecederos, botiquín, linterna, radio a pilas, abrigo, silbato, herramientas y documentos vitales. Durante el sismo, la respuesta inmediata impone aplicar la directriz internacional "si se mueve, no se mueva": mantener la calma, agacharse, cubrirse y agarrarse en un lugar seguro, protegiendo la cabeza en todo momento, y evitar el uso de escaleras o ascensores. Después de la sacudida, la evacuación debe realizarse de forma ordenada por rutas preestablecidas, evitando el uso de ascensores y la generación de chispas o fuego ante posibles fugas de gas, y prestando colaboración en la atención primaria de personas lesionadas.

El trabajo también plantea un cambio de paradigma sobre la amenaza sísmica en el Escudo de Guayana. La evidencia documentada desde el año 2000 revela la ocurrencia de sismos en la región norte de Guayana, con magnitudes Mw ≥ 5,0 y profundidades entre 40 y 120 km, vinculados a la dinámica de la losa de subducción Sudamericana-Atlántica. Ciudad

Guayana y Ciudad Bolívar, emplazadas sobre los sedimentos poco consolidados del Pleistoceno de la Formación Mesa, en contacto discordante con las rocas competentes del cratón Precámbrico, muestran intensidades sísmicas que no respetan un patrón normal de atenuación con la distancia. El análisis histórico demuestra que la afectación sísmica en Guayana no es un fenómeno inédito: las crónicas del misionero jesuita Felipe Salvador Gilij ya registraban eventos telúricos como el terremoto del 21 de octubre de 1766, con impactos en los asentamientos del Bajo Orinoco. Estos hallazgos hacen prioritaria la revisión de la norma COVENIN 1756-1:2019 para el norte de Guayana.

El trabajo concluye con la propuesta de un Consejo Interinstitucional de Educación y Seguridad Sísmica, con una Secretaría Técnica Ejecutiva liderada por FUNVISIS y Protección Civil, que integre al Ministerio de Educación, la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, el Colegio de Ingenieros de Venezuela y los gobiernos locales. Esta estructura permitiría articular la investigación técnico-científica con la revisión de normativas, la evaluación de vulnerabilidades en infraestructura esencial y la incorporación de la cultura del riesgo en los currículos escolares y planes comunitarios.

La prevención sísmica no debe responder a la contingencia del desastre, sino a una política pública de Estado continua y rigurosa. El trabajo propone normar los simulacros periódicos, mínimo dos al año, y convertir el protocolo de autoprotección en una respuesta condicionada automática. La articulación entre la educación, la normativa y la infraestructura es indispensable: la mejor herramienta de ingeniería pierde efectividad si la ciudadanía desconoce cómo reaccionar, y la mejor preparación ciudadana no puede compensar una infraestructura que colapsa. La propuesta de un Consejo Interinstitucional de Educación y Seguridad Sísmica apunta a corregir esta fragmentación, integrando la investigación técnico-científica con la revisión de normativas, la evaluación de vulnerabilidades y la incorporación de la cultura del riesgo en los currículos escolares y planes comunitarios.

El trabajo aborda la dimensión educativa del riesgo y formula recomendaciones concretas para la preparación ciudadana. Demuestra que la reducción del riesgo sísmico no es solo una cuestión de ingeniería y normativa, sino también de educación y cultura. La memoria sísmica, entendida como la capacidad colectiva de aprender de los eventos pasados, es el fundamento sobre el cual se construye una cultura de prevención. Sin ella, cada terremoto encuentra a la sociedad tan desprevenida como el anterior.

"La reorganización del entramado social en las zonas afectadas por el doblete sísmico del 24 de junio en Venezuela" (Oviedo, 2026). Aquí se analiza la crisis del modelo clásico burocrático frente al evento sísmico y propone una transición hacia el paradigma de la gobernanza para la reconstrucción. Su premisa fundamental es que los desastres no son eventos puramente naturales, sino una construcción social derivada de decisiones políticas y desigualdades históricas que generan vulnerabilidades socio-estructurales. Su aporte principal es la articulación de la noción de "construcción social del riesgo" con la propuesta de una gobernanza que involucre de manera horizontal al Estado, la sociedad civil y el sector privado, y que reemplace la improvisación de la administración pública por modelos técnicos y participativos. El trabajo formula un marco teórico y normativo que no se aplica específicamente al evento del 24 de junio de 2026 ni evalúa el desempeño de las instituciones durante la emergencia. Sin embargo, su contribución es valiosa porque proporciona el marco conceptual e institucional para comprender por qué la respuesta fue deficiente y qué debería hacerse para fortalecerla.

El trabajo parte de una constatación fundamental: a pesar de la existencia de marcos normativos para la gestión del riesgo en Venezuela, el doblete sísmico del 24 de junio de 2026 reveló fallos críticos en la implementación de políticas públicas, la insuficiencia del manejo de recursos del Estado y la respuesta ineficaz a la contingencia en las primeras horas del desastre. La tesis central es que el período post-emergencia constituye una "ventana de oportunidad" para transformar las relaciones sociales y reducir la vulnerabilidad, pero que la implementación de políticas públicas inadecuadas y la improvisación por parte de quienes detentan el poder político pueden conducir a reconstrucciones apresuradas que ignoren el contexto social y reproduzcan las mismas vulnerabilidades preexistentes. El ejemplo del deslave de Vargas de 1999 y del terremoto de La Guaira de 2026 evidencia que, en ambos casos, se repitió el fracaso en la democratización del conocimiento del riesgo, las deficiencias de información oportuna y la prevalencia del enfoque de "respuesta a la emergencia".

El trabajo formula una crítica de la noción de "desastre natural". Siguiendo la literatura sobre la construcción social del riesgo, el autor sostiene que los desastres no son eventos puramente naturales, sino el resultado de procesos sociales, decisiones políticas y desigualdades históricas que se materializan en un territorio determinado. La naturaleza produce fenómenos, pero la sociedad construye los desastres. Un sismo es un evento geofísico neutro, pero su transformación en tragedia humana depende del escenario de vulnerabilidad que se haya edificado previamente. La vulnerabilidad ante un fenómeno natural no es producto de la espontaneidad, sino de condiciones estructurales definidas por tres dimensiones críticas: una vulnerabilidad material (infraestructura precaria y falta de cumplimiento de normas de construcción en zonas de alta exposición sísmica), una vulnerabilidad simbólica, invisibilización de grupos históricamente marginados en la planificación del espacio público, y una vulnerabilidad institucional caracterizada por la incapacidad de los organismos estatales para coordinar una respuesta preventiva, operando bajo lógicas improvisadas.

El trabajo propone una transición desde el modelo clásico burocrático hacia el paradigma de la gobernanza, entendida como una nueva relación trilateral entre el Estado, la sociedad civil y el sector privado. La nueva gestión pública, inspirada en el management privado, permitió reformar el sector público y restituir la capacidad de gestión del Estado, pero presenta disfunciones de tipo social al centrarse solo en la técnica gerencial, la economía y la eficacia, sin promover un nuevo tipo de participación ciudadana ni defender los valores colectivos. La gobernanza surge para corregir estas disfunciones,

estableciendo un espacio público deliberativo en el que los niveles de gobierno, las organizaciones privadas y las organizaciones civiles estén simétricamente representados. El gobierno sigue ocupando el papel central de dirección, pero ya no es el único actor en la resolución de las demandas sociales; crea relaciones mancomunadas y delega en las organizaciones sociales y privadas mecanismos de participación y competencias compartidas.

El trabajo examina también las etapas de recuperación y gestión de la vulnerabilidad. La reconstrucción no debe plantearse como el retorno al estado previo al desastre, sino como una oportunidad para modificar las causas estructurales del riesgo y redistribuir el poder y los recursos para que el territorio sea habitable de manera equitativa. Las etapas del proceso son cuatro. La emergencia dura días o semanas y termina con el cese de rescates y la búsqueda de sobrevivientes. La restauración dura semanas o meses y concluye con la reparación de los servicios principales y el retorno de los refugiados. La reconstrucción dura meses o años e implica la recuperación del nivel de población y el reemplazo funcional de viviendas. Los proyectos a largo plazo incluyen obras de infraestructura mayor y monumentos de superación. El trabajo retoma la idea de que la solución real para prevenir desastres, prepararse ante su eventualidad y prestar asistencia solo puede provenir de enfrentar los problemas básicos que ponen a los seres humanos en riesgo y acrecientan su vulnerabilidad, y que riesgos y pobreza no pueden separarse.

El trabajo concluye con una reflexión sobre la magnitud económica del desastre y la necesidad de una gobernanza proactiva. La pérdida estimada de 37 mil millones de dólares, según la UNDRR, debe analizarse como una erosión masiva y súbita del stock de capital expuesto del país, que ha condensado en segundos el equivalente a más de 30 años de pérdidas. La reconstrucción de las zonas afectadas no debe plantearse como el retorno al statu quo previo al desastre, sino como una oportunidad de implementar la gobernanza del riesgo, aplicando estándares modernos de reforzamiento estructural para romper el ciclo de vulnerabilidad histórica. La efectividad de la inversión post-desastre debe sustentarse en datos técnicos y modelos de riesgo detallados, y la toma de decisiones gubernamentales exige una robustez metodológica que minimice la incertidumbre a partir de la relación trilateral Estado, sociedad civil y sector privado que plantea el paradigma de la gobernanza.

El trabajo aporta el marco conceptual e institucional para comprender por qué la respuesta al evento del 24 de junio de 2026 fue deficiente y qué debería hacerse para fortalecerla. Demuestra que la gestión del riesgo no es un problema solamente técnico o de ingeniería, sino un problema de índole social y político, y que la reducción de la vulnerabilidad es, en última instancia, una cuestión de justicia social y de voluntad política para redistribuir el poder sobre el territorio afectado. La propuesta de una gobernanza proactiva, que reemplace la improvisación por modelos técnicos y participativos, apunta a corregir la brecha persistente entre el conocimiento técnico disponible y las decisiones de inversión pública.

6.3. Impactos humanos, económicos y protección financiera

"Los terremotos de Venezuela: Cuando las pérdidas no tienen cobertura" (Tineo, 2026) examina la brecha de protección financiera que pusieron en evidencia los terremotos del 24 de junio de 2026. Su tesis central es que las consecuencias económicas no eran inevitables, sino el resultado de la ausencia de protección financiera previa, y que la reconstrucción ofrece una ventana de política pública para construir la arquitectura financiera e institucional que Venezuela necesita para enfrentar futuros desastres. Este trabajo se articula con el de Oviedo (2026) en la dimensión económica del riesgo, y con el Capítulo 14 del GEER (Paul et al., 2026, Cap. 14) en la cuantificación de los impactos humanos y económicos.

La protección financiera frente a los desastres naturales no actúa sobre los daños físicos, sino sobre sus consecuencias económicas y financieras. Su función es asegurar que existan recursos disponibles cuando el riesgo se materializa: definir quién asume las pérdidas, con qué instrumentos y a qué costo, antes de que ocurra el evento. Sin esa política, la respuesta al desastre depende de lo que queda disponible después, que es siempre menos, más caro y más lento. Venezuela llegó al 24 de junio sin esa política. La cobertura de seguros era exigua: las primas representaban apenas el 0,9% del PIB en 2024, frente al 3,2% en promedio en América Latina y el 4,6% en Chile. Las reservas fiscales resultaban insuficientes para un evento de esta envergadura, y los mecanismos de transferencia de riesgo a los mercados de capitales eran prácticamente inexistentes, en un contexto de severas restricciones de acceso al financiamiento externo.

La magnitud del problema que esa protección busca resolver es alta. En 2024, de los 11.600 millones de dólares en pérdidas económicas por catástrofes naturales en América Latina, apenas 1.500 millones estaban asegurados: el 87% de las pérdidas no tenía cobertura alguna. Esta brecha de protección se agrava en países con mercados de seguros poco desarrollados, como Venezuela. Según la evaluación rápida de daños post-desastre publicada por el Banco Mundial el 13 de julio de 2026, los terremotos dejaron 19.600 millones de dólares en daños físicos directos. El 47% correspondió a las viviendas: pérdidas predominantemente privadas que recayeron sobre los propietarios, en su mayoría de escasos recursos. El 26% afectó a edificaciones no residenciales, de orden privado como los clubes recreativos, los centros comerciales y los pequeños comercios. El 27% restante correspondió a infraestructura pública: el aeropuerto de Maiquetía, el puerto de La Guaira, la red de agua y saneamiento, la eléctrica, y algunas escuelas y centros de salud, a lo que se suman los daños a las viviendas de la Gran Misión Vivienda Venezuela.

La distinción entre pérdidas privadas y públicas es requerida para la distribución de los daños. Cuando las propiedades privadas no están aseguradas, las pérdidas recaen inicialmente sobre los propietarios; pero cuando sus recursos no alcanzan, esa pérdida privada termina convirtiéndose en una presión sobre las finanzas públicas porque obliga al Estado a ofrecer

subsidios, soluciones habitacionales y otras ayudas de recuperación. Lo privado sin cobertura se vuelve público por defecto. En ausencia de protección financiera previa, el costo del desastre no desaparece: se traslada. Una parte de este problema tiene raíces técnicas. La calidad sísmica de una vivienda depende de al menos cuatro condiciones que deben cumplirse simultáneamente: que el suelo sea apto para la construcción, que el proyecto se diseñe conforme a las normas sismorresistentes vigentes, que la obra se ejecute fielmente según ese proyecto con los materiales adecuados, y que lo construido se use para el fin para el que fue proyectado. En Venezuela, un eslabón muy débil es la inspección: los municipios aprueban proyectos, pero no tienen capacidad para verificar si la construcción se ejecuta según las normas ni que los materiales cumplan las especificaciones. Sin esa verificación independiente, las aseguradoras no pueden certificar la resistencia sísmica de la estructura y rehúsan emitir cobertura. Una parte significativa del parque habitacional venezolano es, en la práctica, inasegurable.

Al problema técnico se suma uno financiero estructural. Según los indicadores de desarrollo mundial del Banco Mundial, el crédito bancario al sector privado en Venezuela representa menos del 2% del PIB, frente a un promedio del 55% en América Latina y el Caribe. En ese contexto de contracción severa del financiamiento privado, el crédito hipotecario es prácticamente inexistente, lo que desactiva un mecanismo que en mercados funcionales opera de forma casi automática: cuando un banco otorga una hipoteca, exige como condición un seguro que proteja el activo que garantiza el crédito. Sin hipoteca, ese incentivo desaparece, y la vivienda queda desprotegida por partida doble: sin financiamiento para su construcción o mejora, y sin cobertura para su pérdida.

La preparación financiera frente a los desastres naturales exige combinar mecanismos según la magnitud y frecuencia de las pérdidas. Para la liquidez inmediata se requieren reservas y fondos de contingencia. Para las pérdidas mayores, financiamiento contingente. Para los eventos extremos, seguros o instrumentos de mercado. Entre los instrumentos que se podrían considerar para Venezuela destacan los seguros paramétricos, que activan pagos automáticos al verificarse un parámetro físico predefinido, la magnitud registrada de un sismo, el nivel de precipitación acumulada, el caudal que determina el desbordamiento de ríos o el índice de humedad del suelo, sin necesidad de evaluar pérdidas individuales, poniendo recursos a disposición en cuestión de días. A diferencia de los seguros tradicionales de indemnización, que requieren la tasación individual de cada pérdida, los seguros paramétricos desvinculan el pago del daño efectivo: el disparador es el evento físico, no la pérdida verificada. La contrapartida es el riesgo de base: la posibilidad de que el parámetro se active sin que el asegurado haya sufrido pérdidas significativas, o que no se active pese a haberlas sufrido. Ese riesgo se gestiona mediante el diseño cuidadoso del disparador y la calibración del nivel de activación con datos históricos de pérdidas.

La región del Caribe lo ha comprobado a través del Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility (CCRIF), el primer mecanismo mancomunado de seguro paramétrico multi-país del mundo, creado en 2007, que agrupa a gobiernos caribeños y centroamericanos para transferir colectivamente el riesgo de huracanes, terremotos y precipitaciones extremas a los mercados internacionales de reaseguro. La mancomunación permite reducir las primas individuales al distribuir el riesgo entre países con exposiciones distintas, y el mecanismo paramétrico garantiza desembolsos en un plazo máximo de catorce días hábiles tras el evento. Desde su creación, el CCRIF ha realizado 82 pagos a sus gobiernos miembros por un total cercano a 500 millones de dólares en cuestión de días inmediatamente posteriores al desastre. Venezuela, expuesta a riesgos sísmicos e hidrometeorológicos comparables, nunca participó en mecanismos de este tipo.

En América Latina, México y Colombia han construido las estrategias más avanzadas de protección financiera contra desastres en la región. México opera desde hace dos décadas un sistema de tres capas. La primera es un fondo de reservas fiscales para emergencias menores. La segunda es el reaseguro soberano para eventos de magnitud media. La tercera son los bonos catastróficos, que transfieren el riesgo extremo directamente a los mercados internacionales de seguros a cambio de una prima. En 2017, tras el terremoto de Chiapas, México activó su cobertura paramétrica y en días recibió 150 millones de dólares antes de que cualquier evaluación de daños estuviera completa. Un año después, el país lideró una emisión conjunta con Colombia, Chile y Perú por 1.360 millones de dólares, la primera operación de este tipo que agrupó a varios países latinoamericanos en una estructura regional de transferencia de riesgo. Colombia, por su parte, adoptó en 2013 una estrategia nacional de gestión financiera del riesgo de desastres que articuló tres instrumentos en una sola arquitectura: fondos de contingencia para liquidez inmediata, una línea de crédito contingente con el Banco Mundial activable tras la declaratoria de desastre, y coberturas de reaseguro para los activos públicos. La estrategia de ambos países se distingue por haber incorporado la modelación probabilística de riesgos como base técnica para dimensionar cada capa de protección y asignar los instrumentos según la frecuencia e intensidad esperada de los eventos.

En Venezuela no existe información probabilística pública comparable que permita caracterizar la exposición al riesgo ni estimar las pérdidas potenciales por tipo de amenaza. El riesgo sísmico, las inundaciones, las sequías y los derrumbes producen distribuciones de pérdidas distintas, y cada uno requiere instrumentos calibrados a su propia frecuencia e intensidad. Sin esa base técnica, no es posible determinar qué proporción del riesgo retener, qué transferir al mercado y qué cubrir mediante financiamiento contingente. La protección financiera no termina en el Estado ni en los mercados. En Venezuela, donde la cultura del seguro es prácticamente inexistente, la mayoría de las personas deja vivienda, bienes y fuentes de ingreso completamente expuestos. Ampliar esa cultura requiere que el seguro sea accesible en términos reales. Venezuela debería considerar la adopción del microseguro catastrófico: productos de prima baja, cobertura simple y proceso de reclamación ágil, adaptados a poblaciones con ingresos irregulares y escasa familiaridad con los servicios financieros. Según un estudio de

IDB Invest sobre el mercado de microseguros en América Latina y el Caribe, estos productos ya protegen a más de 75 millones de personas en la región y se han consolidado como el instrumento más eficaz para extender la resiliencia financiera a las poblaciones de menores ingresos. Colombia hoy asegura a más de 1,5 millones de personas mediante productos distribuidos por redes comunitarias y microfinancieras. Perú financia íntegramente con recursos públicos un seguro agrícola catastrófico que cubre dieciocho tipos de siniestros, incluyendo sismos, inundaciones y sequías, y que en mayo de 2019 desembolsó 60 millones de dólares tras el terremoto que afectó la región de Loreto. Bolivia ha desarrollado productos con primas de menos de dos dólares mensuales para sectores de bajos ingresos.

El trabajo concluye con una reflexión sobre la dimensión institucional de la protección financiera. Venezuela contaba desde 2009 con una Ley de Gestión Integral de Riesgos que preveía exactamente los mecanismos que hoy urgen, y que permaneció sin reglamentar ni implementar durante 17 años. Esa ausencia de institucionalidad ha incentivado a los agentes intermediarios de seguros a retener fondos destinados al pago de primas sin trasladarlos a las aseguradoras, dejando a los asegurados sin protección real cuando ocurre el siniestro. Sin supervisión efectiva de los fondos, ampliar la cobertura de seguros enfrenta un obstáculo que va más allá de la penetración del mercado: la ausencia de un marco institucional que garantice que las primas pagadas se conviertan efectivamente en protección. La brecha financiera y la brecha institucional son dos caras del mismo problema.

El Capítulo 14 del informe GEER, titulado **"Impactos humanos y económicos" (Paul et al., 2026, Cap. 14)**, proporciona una síntesis transversal de los impactos humanos y económicos del evento del 24 de junio de 2026, articulando las estimaciones analíticas preliminares de PAGER, GEM, UNDRR y GRADE con los impactos reportados en el terreno durante el primer mes. El capítulo integra las estimaciones de impacto de distintas metodologías y las contrasta con la evidencia empírica de la respuesta humanitaria. Su aporte principal es la documentación sistemática de las estimaciones analíticas y de los impactos reportados, y la discusión de las diferencias entre los estudios, que se deben a qué activos se incluyen o excluyen, qué modelos y supuestos se utilizan para representar los daños, y la calidad y cobertura de los datos de entrada y calibración. Su principal limitación es que las estimaciones analíticas son preliminares y están sujetas a revisión a medida que se disponga de información más completa; sin embargo, su contribución es valiosa porque proporciona la base cuantitativa para dimensionar el desastre y para evaluar la brecha de protección financiera documentada por Tineo (2026).

Las estimaciones analíticas preliminares de los impactos presentan un rango considerable de variación según la metodología y el momento de evaluación. El sistema PAGER (Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response) del USGS emitió una alerta roja para ambos eventos, estimando pérdidas económicas de entre el 5% y el 20% del PIB para el evento de magnitud 7.5, y de entre el 0% y el 7% del PIB para el evento de magnitud 7.2. La Fundación GEM (Global Earthquake Model), utilizando modelos de geometría de ruptura de ShakeMap y el Modelo de Riesgo Sísmico Global, estimó para el análisis del 6 de julio de 2026 (magnitud M7.6) 5,6 miles de muertes, 18,6 miles de heridos graves, 245 mil edificios irreparables, 927 mil personas sin hogar y 7,9 mil millones de dólares en pérdidas económicas. La UNDRR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres), con el apoyo de Ingeniar CAD/CAE y ERN, estimó los daños físicos directos en aproximadamente 37 mil millones de dólares, asociados a un período de retorno de unos 180 años. El Banco Mundial, utilizando la metodología GRADE (Global Rapid post-disaster Damage Estimation), estimó los daños físicos directos en 19.600 millones de dólares, y señaló que los costos de reconstrucción, incluyendo refuerzos estructurales, cambios en la tipología de edificios y gestión de escombros, pueden oscilar entre dos y dos veces y media el valor de reposición calculado. El capítulo precisa que las diferencias entre los estudios se deben a qué activos se incluyen o excluyen, qué modelos y supuestos se utilizan para representar los daños, y la calidad y cobertura de los datos de entrada y calibración, y que el impacto económico total probablemente será mayor que el valor directo estimado.

Los impactos reportados en el primer mes reflejan la magnitud humana del desastre. Para el 2 de julio, se había informado del rescate de 6.462 personas. El número de víctimas aumentó durante los días y semanas posteriores a los terremotos, con un estimado de 5.398 muertos y 16.740 heridos hasta el 23 de julio. Al 2 de julio, 21 hospitales reportaron 4.757 pacientes registrados en cuatro estados, y aproximadamente 13.000 personas habían sido dadas de alta de los centros de salud tras su recuperación. La población en refugios temporales alcanzó las 23.843 personas, con 12.500 en La Guaira, 8.835 en Caracas, 2.833 en Miranda y 675 en Aragua. Los informes de las organizaciones humanitarias documentaron que el impacto fue particularmente grave para ciertos grupos de población que ya se encontraban en situaciones vulnerables antes del evento, incluidos niños y adolescentes, mujeres embarazadas y mujeres en edad reproductiva, adultos mayores, personas con discapacidades y personas con enfermedades crónicas. La combinación de daños estructurales a viviendas, escuelas y hospitales, interrupciones en los servicios básicos y desplazamientos forzados creó patrones de riesgo distintos dentro de la misma área afectada.

El acceso a los servicios básicos y a los bienes esenciales se vio gravemente interrumpido en las zonas más afectadas. Las evaluaciones preliminares rápidas coordinadas por el Grupo de Salud pusieron de manifiesto que entre el 70% y el 90% de los edificios en La Guaira resultaron dañados o colapsaron, y que el 100% de las instalaciones de salud en el área evaluada se vieron afectadas. Las condiciones de agua, saneamiento e higiene se deterioraron rápidamente, y el acceso a los alimentos fue también una preocupación fundamental durante el primer mes. El Programa Mundial de Alimentos informó que, a finales de julio, había llegado a más de 100.000 personas con asistencia alimentaria en las zonas afectadas, a través de comidas calientes en refugios y comedores comunitarios, raciones listas para

consumir y canastas de alimentos secos. World Central Kitchen desplegó una cocina de campaña de gran capacidad y una red de restaurantes locales asociados en La Guaira, Caracas y partes de Carabobo, sirviendo decenas de miles de comidas calientes al día y superando el millón de comidas a mediados de julio.

El trabajo aporta la base cuantitativa para dimensionar el desastre y para evaluar la brecha de protección financiera documentada por Tineo (2026). Las estimaciones analíticas, aunque preliminares y sujetas a revisión, coinciden en señalar la magnitud excepcional del evento: un rango de pérdidas económicas directas que oscila entre 6 mil millones y 37 mil millones de dólares según la metodología, y un número de víctimas mortales que, según las estimaciones de GEM, podría haber alcanzado las 5.600 personas. La documentación de los impactos reportados en el primer mes, las cifras de rescates, heridos, desplazados y personas en refugios temporales, confirma la gravedad del desastre y la magnitud de las necesidades humanitarias. La articulación de estas estimaciones con los hallazgos de Tineo (2026) sobre la ausencia de protección financiera previa permite comprender por qué el costo del desastre recayó de manera desproporcionada sobre las finanzas públicas y sobre las personas afectadas, y por qué la reconstrucción requiere una arquitectura financiera que proteja tanto la integridad fiscal del Estado como la capacidad de recuperación de los hogares.

El capítulo concluye con una reflexión sobre la importancia de la coordinación local entre las sociedades profesionales, el mundo académico, la industria y las entidades gubernamentales, y sobre el rol esencial que desempeñaron en el apoyo a las vías para el descubrimiento científico. Los equipos de GEER se apoyaron en estos socios locales, que permitieron documentar los impactos de estos intercambios en medio de tiempos difíciles para el país. Esta colaboración entre la comunidad científica internacional y los actores locales constituye un modelo de respuesta que articula la investigación técnica con la respuesta humanitaria, y que debería ser considerado en la planificación de futuros eventos.

7. DISCUSIÓN

La Discusión articula los hallazgos de los cinco ejes temáticos en torno a cuatro bloques: la caracterización del evento y la fuente sísmica (7.1 a 7.3); la respuesta estructural y geotécnica (7.4 a 7.6); la infraestructura, los servicios y la gestión del riesgo (7.7 y 7.8); y la dimensión social, cultural y económica (7.9 a 7.13). Cada apartado desarrolla un argumento temático, usa las referencias como evidencia y cierra con una proyección técnica o una pregunta abierta.

Caracterización del evento y la fuente sísmica

7.1. La naturaleza de la ruptura y la falla de Bruscas

La secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 ha generado un debate terminológico que refleja la complejidad del evento. El término "doblete sísmico" ha sido cuestionado por su vaguedad, y se ha propuesto en su lugar el concepto de "sismo multifocal" o "secuencia multi-eventual": una nucleación en el sismo de Mw 7,2 que inicia la ruptura y se propaga hacia el este hasta encontrar una región del mismo plano de falla cargada de energía elástica, que entonces libera el grueso del momento sísmico en el sismo de Mw 7,5 (Audemard, 2026). Otros trabajos emplean el término "doblete sísmico" para referirse al mismo evento (García, 2026; Genatios y Lafuente, 2026; Lafuente, 2026; Pinto, 2026; Varela et al., 2026, Cap. 8). La diferencia terminológica no afecta la caracterización física del evento, que es consistente en todos los trabajos: dos eventos principales separados por aproximadamente 30 a 40 segundos, el primero de Mw 7,2 con epicentro en Yaracuy, asociado al sistema de fallas de Boconó, y el segundo de Mw 7,5 con epicentro en el mar Caribe, frente a la costa de La Guaira, asociado al sistema de fallas de San Sebastián y a la falla de Bruscas.

La falla de Bruscas emerge como una estructura principal en la caracterización del evento. Su identificación como falla asociada al segundo evento se sustenta en su expresión superficial en los depósitos plio-cuaternarios del grupo Cabo Blanco, en su cinemática dextral y orientación aproximada E-O, y en la evidencia de ruptura superficial documentada en el aeropuerto de Maiquetía (Audemard, 2026; García, 2026; Carrillo, 2026, Cap. 3; Carrillo, 2026, Cap. 4; Varela et al., 2026, Cap. 8). Estas evidencias, procedentes de la geología estructural, la morfobatimetría, la percepción remota y la geodesia, convergen en la identificación de la falla de Bruscas como la estructura asociada al segundo evento, lo que plantea la necesidad de incorporarla en los mapas de amenaza sísmica y en la normativa sismorresistente.

La severidad del evento no se explica únicamente por su magnitud. La posibilidad de un régimen super-shear y de una superposición de ondas ha sido planteada como un factor que pudo amplificar la destructividad del movimiento (Echezuría, 2026). La hipótesis es plausible a la luz de la caracterización de la fuente: la secuencia consistió en dos eventos principales separados por 39-40 segundos, con el primero nucleando en la falla de Boconó y propagándose hacia el este a velocidades de 3,0-3,1 km/s, y el segundo liberando el grueso del momento sísmico en la falla de San Sebastián (Audemard, 2026). El corredor de La Guaira debe ser tratado como un sitio cercano a la fuente de una gran ruptura de deslizamiento horizontal, con la posibilidad de directividad y movimientos tipo pulso, y con una larga duración efectiva del doblete: el segundo evento llega 30 segundos después del primero, antes de que el primero se haya desvanecido (Varela et al., 2026, Cap. 8). La caracterización de la directividad, los pulsos de velocidad y la carga secuencial refuerza la necesidad de incorporar estos criterios en la revisión de la Norma COVENIN 1756-1:2019. Así lo plantean Genatios y Lafuente (2026). La convergencia de evidencias independientes respalda esta interpretación de régimen super-shear y superposición de ondas, aunque se requiere confirmación instrumental para establecerla con certeza.

Proyección: La identificación de la falla de Bruscas como estructura asociada al segundo evento y la plausibilidad de un régimen super-shear plantean la necesidad de revisar los mapas de amenaza sísmica y la normativa sismorresistente. La revisión debe incorporar la falla de Bruscas en la cartografía de fallas

activas y considerar los escenarios de ruptura supersónica y los pulsos de alta velocidad en el diseño de estructuras críticas.

7.2. La recurrencia secular y la memoria sísmica

La recurrencia secular de los grandes terremotos en Venezuela norcentral no es solo un dato tectónico; es también una construcción social que condiciona la forma en que las comunidades perciben y enfrentan la amenaza. Como se documentó en el apartado 2.2, la coincidencia entre las intensidades máximas registradas en 2026 y las estimadas para los terremotos de 1812 y 1900 confirma que la región está sujeta a eventos de magnitud elevada con recurrencia secular. Esa recurrencia tiene también una dimensión cultural que condiciona la forma en que las comunidades perciben y enfrentan la amenaza. La recurrencia no es solo sísmica: los aludes torrenciales en La Guaira han ocurrido en 1999, 2005, 2010, 2011 y 2022, y la combinación de ambas recurrencias, sísmica e hidrometeorológica, configura un escenario de riesgo compuesto que debe ser considerado en la planificación de la reconstrucción y en la educación de la población.

Esa convivencia con la recurrencia ha generado un imaginario sísmico que incluye devociones antisísmicas, procesiones, rogativas y otras prácticas religiosas (Rodríguez et al., 2026). Estas representaciones sociales no son un fenómeno anecdótico o supersticioso; constituyen un componente esencial de la percepción del riesgo y condicionan la forma en que las comunidades responden a la amenaza. La recurrencia secular tiene, por tanto, una doble dimensión. Por un lado, es un hecho físico que exige respuestas técnicas: la reconstrucción de la red sismológica nacional, la actualización de la normativa sismorresistente, la microzonificación de las áreas expuestas y la evaluación de las obras de mitigación. Por otro lado, es un hecho cultural que exige respuestas sociales: la educación sísmica, la preparación ciudadana y la comunicación del riesgo culturalmente pertinente. Estas dos dimensiones no son independientes; se condicionan mutuamente. Una comunidad que desconoce su historia sísmica y que no ha interiorizado protocolos de actuación está más expuesta, incluso si habita edificaciones resistentes. Una comunidad que ha perdido la memoria de los eventos pasados, o que los interpreta como castigos divinos inevitables, difícilmente adoptará medidas preventivas.

La trayectoria de La Guaira desde 1999 hasta 2026 ilustra esta doble dimensión. La región no solo está sujeta a la recurrencia de los grandes terremotos y a la recurrencia de los aludes torrenciales; también está sujeta a la recurrencia de las crisis institucionales que impiden traducir el conocimiento técnico en medidas preventivas (Genatios, 2026). La pérdida de la red sismológica, el abandono de los planes de ordenamiento territorial y la falta de mantenimiento de las obras de mitigación son manifestaciones de una amnesia institucional que agrava el riesgo. La respuesta operativa durante el evento de 2026 añadió una dimensión crítica a este balance. El colapso de las redes de telecomunicaciones generó una ceguera espacial en las primeras 72 horas. La producción de cartografía táctica impresa y la preservación activa de datos geoespaciales fueron necesarias para sostener las operaciones de búsqueda y rescate (González et al., 2026). La memoria del riesgo no se limita a recordar los eventos pasados; requiere mantener las instituciones, los datos, los planes y las obras que permiten reducir la vulnerabilidad.

Proyección: La recurrencia secular impone una doble exigencia: preservar la memoria de los eventos y mantener las capacidades institucionales para responder a ellos. La primera es una tarea cultural y educativa; la segunda, una tarea técnica y política. Ambas son inseparables, y ambas son indispensables para que la reconstrucción de La Guaira y del litoral central no reproduzca las vulnerabilidades que ya se conocían antes de 2026.

7.3. La geología local y los efectos de sitio

La geología del aeropuerto de Maiquetía y de otros sectores de La Guaira se caracteriza desde enfoques complementarios. García (2026) describe la geología del aeropuerto de Maiquetía, incluyendo la terraza sobre la que se emplaza la pista, compuesta por depósitos coluviales de origen terrígeno con un espesor aproximado de 20 metros, y la falla de Bruscas, que se extiende desde Catia La Mar hasta Mare. Carrillo (2026, Cap. 4) describe con detalle la secuencia sedimentaria del Grupo Cabo Blanco, Formación Las Pailas, Formación Playa Grande, Formación Mare, Formación Abisinia, y la geología estructural del área de Maiquetía-Playa Grande, incluyendo el monoclinal costero y la falla de Bruscas. Además, describe la geología del valle de Caracas, incluyendo los depósitos cuaternarios de relleno de cuenca y los procesos de flujos de detritos. Audemard (2026) describe la expresión superficial de la falla de Bruscas en los depósitos plio-cuaternarios del Grupo Cabo Blanco. Varela (2026, Cap. 7) cartografía las deformaciones del terreno en el aeropuerto de Maiquetía y en otros sectores de La Guaira. Varela et al. (2026, Cap. 8) documentan las fracturas en la pista del aeropuerto y en la calzada al oeste de la pista, que discurren paralelas a la falla de Bruscas.

La respuesta de sitio y la microzonificación explican la heterogeneidad de los daños observados. Los efectos de sitio son las modificaciones del movimiento sísmico producidas por las condiciones locales del terreno, como el espesor y la rigidez de los sedimentos, la geometría de la cuenca y la topografía. Schmitz (2026) documenta los estudios de microzonificación sísmica realizados en Venezuela, incluyendo Caracas, Barquisimeto, Valencia, Maracay, Barcelona, Mérida, Cumaná, La Guaira, Guarenas-Guatire y otras ciudades. En el caso de La Guaira, los estudios geofísicos realizados posteriormente a los deslaves de 1999 han permitido caracterizar los conos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, con espesores de sedimentos de hasta 450 m y períodos fundamentales de 0,9 a 1,8 s. Schmitz et al. (2026) documentan los estudios de microzonificación de Caracas y La Guaira, incluyendo los espesores de sedimentos, hasta 300 m en Los Palos Grandes, y los períodos fundamentales, 1-1,6 s en las zonas más profundas. Barba et al. (2026, Cap. 6) documentan las condiciones sísmicas del sitio en Caracas, La Guaira, Valencia y Maracay, y analizan los efectos de cuenca y la licuación. Pinto (2026) documenta la correspondencia espacial entre la respuesta de la cuenca, los períodos predominantes y el daño en edificios de diferentes alturas en Caracas, y analiza la influencia del comportamiento del suelo en la respuesta

estructural en Catia La Mar y Caraballeda. Lafuente (2026) documenta los efectos de sitio en las cuencas sedimentarias profundas y en las topografías elevadas. Genatios y Lafuente (2026) analizan la combinación particular de La Guaira, donde la franja entre la montaña y el mar está construida sobre conos aluviales y depósitos costeros de gran espesor. Los efectos de sitio fueron determinantes en la distribución de los daños, lo que refuerza la necesidad de completar la microzonificación de La Guaira y de incorporar los efectos de sitio en la evaluación de la amenaza y en el diseño sismorresistente.

Proyección: La combinación de la geología local, los efectos de sitio y la respuesta de la cuenca explica la heterogeneidad de los daños. La microzonificación sísmica es la herramienta que permite caracterizar esa heterogeneidad y traducirla en ordenanzas, mapas y criterios de diseño. Sin microzonificación, la reconstrucción corre el riesgo de reproducir los patrones de daño observados.

Respuesta estructural y geotécnica

7.4. Los mecanismos de daño y la calidad de la construcción

Los mecanismos de daño en edificaciones observados durante el evento del 24 de junio de 2026 fueron recurrentes. Lafuente (2026) analiza los mecanismos de daño observados en Caracas y La Guaira: piso blando, columna corta, fallas de confinamiento y solape, corrosión, mampostería sin confinamiento, cubiertas pesadas con conexiones deficientes, daños en tabiquería, fallas de tanques y alteraciones de sistemas ligeros. Urich (2026) analiza en detalle la incompatibilidad entre los pórticos de concreto armado y las paredes de relleno de mampostería, y documenta los patrones de daño observados. Fargier-Gabaldón et al. (2026, Cap. 11) documentan los daños en edificios residenciales y comerciales, instalaciones esenciales y muros. Bonilla (2026) documenta los errores de ejecución y control de calidad que contribuyeron a los colapsos. Rebonatto (2026) analiza los colapsos del Hotel Macuto Sheraton (1967) y de los edificios de Caracas y La Guaira (2026) bajo la normativa NCh433. La evaluación masiva de daños realizada por el Comité Técnico Asesor del Terremoto (López et al., 2026) confirma la recurrencia de estos mecanismos: de 63.070 edificaciones inspeccionadas, 18% recibieron Etiqueta Roja y 24% Etiqueta Amarilla, con 1.529 colapsos totales o parciales, de los cuales 1.159 corresponden al estado La Guaira.

Los colapsos observados no se explican únicamente por la demanda sísmica: la forma en que se ejecutó la construcción y la manera en que se verificó su cumplimiento condicionaron de manera decisiva el desempeño de las edificaciones. Bonilla (2026) muestra que, en las edificaciones construidas antes de los años 80, de manera general se cumplen las prescripciones normativas verificables, mientras que, a partir de 1980, se detectan deficiencias significativas: el 93% de los edificios evaluados no cumplió con los cierres a 135° en las ligaduras de columnas, el 93% no cumplió con la presencia de ligaduras en nodo, y el 95% presentó exceso de barras en los empalmes de vigas y columnas. Lafuente (2026) documenta la ausencia de registros sísmicos locales y el deterioro de la red sismológica nacional, así como las debilidades institucionales en la gestión del riesgo. Rebonatto (2026) propone la incorporación de la figura del Revisor Independiente de Cálculo Estructural y la transformación de las etiquetas de daño en un disparador legal vinculante que obligue a la reingeniería y reforzamiento. La investigación forense de los colapsos de edificaciones modernas aporta una dimensión específica a la reflexión sobre la calidad de la construcción: la documentación de que en el Urbanismo Hugo Chávez colapsó o sufrió daños severos aproximadamente el 80% de los 196 edificios, y de que en los nueve urbanismos OPPPE de La Guaira colapsaron 16 de las 43 torres y las 27 restantes quedaron inhabitables (Genatios, 2026), exige investigar si las causas están en el diseño, en la ejecución o en la supervisión.

Proyección: La recurrencia de los mecanismos de daño y la persistencia de las deficiencias de calidad plantean la necesidad de revisar los criterios de diseño, ejecución y supervisión. La normativa debe ir acompañada de mecanismos de verificación, inspección y control de calidad que garanticen su cumplimiento efectivo. La seguridad estructural no depende solo del diseño; depende de la ejecución y de la supervisión.

7.5. La normativa sismorresistente y la instrumentación sísmica

La normativa sismorresistente requiere una revisión integral. Genatios y Lafuente (2026) formulan una agenda de revisión de la Norma COVENIN 1756-1:2019 que incorpora explícitamente los criterios de campo cercano, directividad, pulsos de velocidad, desplazamiento tectónico permanente y carga secuencial. Rebonatto (2026) propone la adopción del modelo normativo chileno (NCh433, NCh430, NCh203, NCh204 y DS 61) y la incorporación de la figura del Revisor Independiente. Bonilla (2026) propone exigir que los empalmes por solape de las barras de una misma columna no sean realizados en el mismo entrepiso, revisar el factor R de reducción para estructuras aporticadas en zonas con alta sismicidad, y contemplar mayores rigideces en columnas de planta baja. Schmitz (2026) documenta los avances de la microzonificación sísmica y su implementación en ordenanzas municipales. La normativa sismorresistente debe ser revisada para incorporar los criterios de campo cercano, directividad y carga secuencial, así como para fortalecer el control de calidad.

El desempeño de las edificaciones modernas durante el terremoto de 2026 plantea una reflexión específica sobre la normativa sismorresistente. El hecho de que edificaciones construidas después de 2011 bajo las normas de 2001 hayan colapsado de forma generalizada en el Urbanismo Hugo Chávez y en los urbanismos OPPPE sugiere que el cumplimiento formal de la norma no garantiza por sí solo la seguridad estructural. La norma COVENIN 1756:2001 reconocía expresamente la importancia de las condiciones del suelo en la determinación de la acción sísmica y establecía diferentes espectros de diseño en función de las características geotécnicas del emplazamiento. Sin embargo, si los estudios geotécnicos no se efectuaron sobre la totalidad del terreno, si la clasificación del suelo no correspondía con las condiciones reales, si las fundaciones no fueron diseñadas para la respuesta dinámica del subsuelo, o si la inspección de la construcción fue deficiente, la afirmación de que "el proyecto cumplía la norma"

resulta insuficiente. La propuesta de Norma Sismorresistente de Emergencia elaborada por el Comité Técnico Asesor del Terremoto (López et al., 2026) constituye la respuesta normativa más concreta generada por el evento: amplifica el espectro de respuesta por un factor de campo cercano, establece limitaciones para la construcción en zonas próximas a la falla de San Sebastián, aumenta las fuerzas de diseño de pórticos con paredes de relleno frágiles y exige anclajes pared-estructura.

La instrumentación sísmica y la ausencia de registros constituyen una limitación crítica para la caracterización del evento y para la gestión del riesgo. Lafuente (2026) documenta que, aunque hacia el año 2000 Venezuela llegó a operar entre 250 y 300 estaciones sismológicas, el deterioro progresivo iniciado en 2009 condujo a un colapso casi total de la infraestructura, y que no se dispone de registros acelerográficos instrumentales del evento obtenidos dentro del territorio venezolano. Genatios y Lafuente (2026) señalan que ninguna reforma normativa será suficiente si el país no puede medir el próximo terremoto, y proponen reconstruir una red nacional de acelerógrafos con redundancia, telemetría y publicación abierta de datos. Schmitz (2026) documenta la importancia de la instrumentación sísmica para la microzonificación y la evaluación de la respuesta de sitio. Pinto (2026) señala que la ausencia de registros acelerográficos locales limita la capacidad de aprendizaje y refuerza la necesidad de reconstruir una red sismológica nacional. Nie (2026, Cap. 5) y Barba et al. (2026, Cap. 6) documentan la limitada disponibilidad de registros cercanos a la fuente.

Proyección: La normativa y la instrumentación son dos caras de la misma moneda. Sin medición no hay aprendizaje; sin normativa actualizada no hay protección. La reconstrucción de la red sismológica nacional debe concebirse no solo como una herramienta de caracterización del evento, sino como un componente esencial de la continuidad funcional de los servicios esenciales y de la verificación del cumplimiento normativo.

7.6. La licuación, la interacción suelo-estructura y la respuesta de sitio

La licuación y la deformación permanente del terreno son fenómenos geotécnicos que afectaron a las edificaciones y la infraestructura en las zonas costeras bajas y en los abanicos aluviales. Pinto (2026) documenta la licuación en las franjas costeras de Catia La Mar y el desplazamiento lateral en el sector distal del abanico de Caraballeda. Barba et al. (2026, Cap. 6) analizan los efectos de la licuación en el movimiento del suelo y documentan que la generación de una presión de poros positiva en exceso degrada la rigidez del suelo. Varela (2026, Cap. 7) cartografía los elementos de licuación, volcanes de arena, grietas del terreno, asentamientos, a lo largo de los conos de abanico, las crestas de playa, los rellenos costeros y los depósitos de desembocaduras de ríos. Varela et al. (2026, Cap. 8) documentan evidencias de licuación y desplazamiento lateral en Caraballeda y en el aeropuerto de Maiquetía. López (2026) evalúa el estado físico y funcional de las obras de mitigación de riesgos construidas tras el deslave de 1999 y documenta el grado de sedimentación o colmatación de las presas.

La interacción suelo-cimentación-estructura articula los hallazgos sobre la respuesta diferenciada de las edificaciones. Como se documentó en el apartado 3.3, la respuesta diferenciada del antiguo Hotel Sheraton sugiere que el sistema de fundación condicionó la transferencia de las deformaciones del terreno, y que la integridad resistente de la cimentación no equivale a su estabilidad cinemática. Fargier-Gabaldón et al. (2026, Cap. 11) documentan el caso de estudio de Playa Grande, Catia La Mar, donde edificios similares muy próximos entre sí mostraron daños marcadamente diferentes, y sugieren que la interacción entre estructuras vecinas transmitida a través del suelo podría ser un factor contribuyente. Varela et al. (2026, Cap. 8) documentan los desplazamientos cosísmicos que impusieron movimientos a las cimentaciones.

Proyección: La licuación y la interacción suelo-cimentación-estructura fueron factores determinantes en la respuesta diferenciada de las edificaciones. La evaluación geotécnica y la caracterización del subsuelo deben incorporarse en la planificación de la reconstrucción y en la actualización de la normativa. La integridad resistente de la cimentación no equivale a estabilidad cinemática: una cimentación sin daño material visible puede asentarse, rotar o trasladarse con el terreno e imponer deformaciones incompatibles con la superestructura.

Infraestructura, servicios y gestión del riesgo

7.7. La resiliencia de la infraestructura y la interdependencia de las líneas de vida

La heterogeneidad de desempeños de la infraestructura vital durante el doblete de 2026 ofrece un caso de estudio para identificar los factores que contribuyen a la resiliencia. La Autopista Caracas-La Guaira resistió sin daños importantes, mientras que la Carretera Panamericana colapsó por derrumbes; el Ferrocarril del Tuy y el Metro de Los Teques no sufrieron afectaciones y sirvieron como contingencia; el Aeropuerto La Carlota no sufrió daños; el Aeropuerto de Maiquetía suspendió operaciones y el Puerto de La Guaira vio interrumpidas sus cadenas logísticas; las presas de suministro de agua y las presas de control de sedimentos no mostraron daños estructurales significativos atribuibles al terremoto. Esta heterogeneidad sugiere que la resiliencia de la infraestructura no depende únicamente de la intensidad del movimiento sísmico, sino de factores como la ubicación respecto a las fallas activas, la redundancia de rutas y sistemas, la sectorización de las redes, la existencia de planes de contingencia y la capacidad de respuesta institucional.

La resistencia de las presas es un caso particularmente ilustrativo de esta heterogeneidad. A diferencia de los puentes, aeropuertos, puertos y redes de servicios, las presas de suministro de agua y las presas de control de sedimentos no mostraron daños estructurales significativos atribuibles al terremoto. Las causas de esta resiliencia no están documentadas en las fuentes, y su identificación requeriría estudios específicos sobre la respuesta dinámica de las presas y las condiciones de sitio en que se encuentran. Sin embargo, la inspección de las presas de control de sedimentos de La Guaira reveló que la capacidad operativa de muchas de estas

estructuras está comprometida por condiciones preexistentes (sedimentación avanzada, invasión antropogénica de los corredores de torrentes, erosión de las fundaciones e inestabilidad de taludes en las zonas altas de las cuencas) que, aunque no fueron causadas por el terremoto, representan un riesgo latente para la función protectora de las presas y para la seguridad de las comunidades aguas abajo.

La interdependencia sistémica de las líneas de vida se manifiesta con particular claridad en el acoplamiento bidireccional entre el sistema eléctrico de potencia y las redes celulares de telecomunicaciones. Cuando un sismo mayor o un alud torrencial derriba las líneas de transmisión eléctrica de alta y media tensión, las radiobases celulares conmutan de forma automática a sus fuentes de energía de respaldo; en aquellas instalaciones no provistas de sistemas avanzados de microgeneración, los bancos de baterías tradicionales agotan su carga produciendo la desconexión simultánea de extensas zonas de cobertura. A partir de ese instante se activa el ciclo de falla inversa: sin red móvil operativa, los centros de despacho de las empresas eléctricas quedan ciegos ante la pérdida de telemetría de sus subestaciones y pierden la comunicación con sus cuadrillas de reparación en campo. La imposibilidad de coordinar la logística de transporte de combustible y priorizar los trabajos en circuitos averiados retrasa la restitución del servicio eléctrico generalizado, lo que a su vez profundiza y prolonga el apagón del sistema celular. Este bucle destructivo en cascada ilustra la naturaleza sistémica de la vulnerabilidad de las líneas de vida y la necesidad de abordar su resiliencia de manera integrada (De Viana, 2026).

Proyección: La heterogeneidad del desempeño de la infraestructura y la interdependencia de los sistemas plantean la necesidad de abordar la resiliencia de manera integrada. La redundancia, la sectorización y los planes de contingencia son medidas que reducen la vulnerabilidad sistémica. La reconstrucción debe incorporar estos criterios en el diseño y la planificación de las líneas de vida.

7.8. La gestión del riesgo y la reconstrucción

La gestión del riesgo en Venezuela se ha caracterizado por una brecha persistente entre el conocimiento técnico disponible y las decisiones de inversión pública. Las vulnerabilidades identificadas en estudios previos se materializaron con notable precisión durante el evento de 2026, lo que evidencia que el problema no es la falta de diagnóstico, sino la ausencia de mecanismos institucionales que traduzcan ese diagnóstico en medidas preventivas. La microzonificación sísmica, aunque desarrollada en varias ciudades del país, no se ha convertido en ordenanzas vinculantes en todos los casos (Schmitz, 2026). La normativa sismorresistente, aunque ha evolucionado desde 1939, no ha incorporado plenamente los criterios de campo cercano, directividad y carga secuencial (Genatios y Lafuente, 2026). La evaluación de las obras de mitigación construidas tras los deslaves de 1999 revela que muchas han perdido su capacidad protectora por falta de mantenimiento sistemático (López, 2026). La calidad de la construcción, especialmente a partir de 1980, presenta deficiencias significativas que no fueron detectadas ni corregidas por los mecanismos de supervisión existentes (Bonilla, 2026).

La respuesta institucional, en suma, ha sido reactiva: se interviene después del desastre, no antes. La propuesta de un Plan de Gestión Local de Riesgos, con sus cinco componentes, apunta a corregir esa lógica (Estévez, 2026), pero su implementación requiere voluntad política, capacidad técnica y continuidad institucional. La dimensión humana de la recuperación añade un componente que no puede reducirse a la reposición de infraestructura: el estado psíquico, orgánico y relacional de los habitantes, así como el capital conductual de la población civil y la fuerza laboral, condicionan la viabilidad de cualquier plan de reconstrucción (Caraballo, 2026). La experiencia de la respuesta cartográfica de emergencia durante el evento de 2026 demostró que la gestión de la información geoespacial y la preservación activa de datos son funciones críticas de la respuesta humanitaria (González et al., 2026). La respuesta institucional organizada a través de la Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras y su Comité Técnico Asesor (López et al., 2026) demostró que el país cuenta con la capacidad técnica para organizar una evaluación masiva de daños, desarrollar lineamientos técnicos y proponer una norma de emergencia.

Proyección: La gestión del riesgo requiere una estrategia integral que articule la microzonificación, la revisión normativa, la instrumentación sísmica, la evaluación de las obras de mitigación y la planificación local. La correspondencia entre las vulnerabilidades identificadas en 2017 y los daños causados en 2026 demuestra que el conocimiento técnico existía, pero no se tradujo en medidas preventivas. La reconstrucción de La Guaira y del litoral central ofrece una oportunidad para cerrar esa brecha, pero solo si la planificación incorpora explícitamente la resiliencia como criterio de diseño.

Dimensión social, cultural y económica

7.9. La dimensión cultural y patrimonial del riesgo

La recurrencia secular de los grandes terremotos explica por qué las devociones antisísmicas se han mantenido vigentes a lo largo de los siglos: cada generación ha experimentado la amenaza y ha buscado en el imaginario religioso una forma de interpretarla y enfrentarla (Rodríguez et al., 2026). La vulnerabilidad del patrimonio religioso es una manifestación específica de los mecanismos de daño documentados en este ensayo: la mampostería no reforzada, la ausencia de diafragma rígido y la incompatibilidad de refuerzos históricos son los mismos mecanismos que afectaron a las edificaciones residenciales y comerciales, pero en el patrimonio religioso se ven agravados por la falta de mantenimiento y por la complejidad de las intervenciones de conservación (Balza y Montecalvo, 2026). La conservación del patrimonio construido es, además, un componente de la gestión integral del riesgo: no basta con reconstruir las viviendas y las infraestructuras, también se deben preservar los edificios que constituyen la memoria histórica y la identidad cultural de las comunidades afectadas.

Proyección: La reducción del riesgo sísmico no puede ser solo técnica. Requiere también comprender y dialogar con las

representaciones sociales que condicionan la percepción del riesgo, y preservar el patrimonio construido como parte de la memoria colectiva que da sentido a la reconstrucción.

7.10. La educación y la preparación ciudadana

La ausencia de registros instrumentales del evento de 2026 no solo limita la caracterización física del fenómeno, sino también la capacidad de aprendizaje de la población: sin datos accesibles y comprensibles, la memoria sísmica se debilita (Mariño, 2026). La vulnerabilidad de la infraestructura escolar es una manifestación de los mismos mecanismos de daño documentados en este ensayo, y su refuerzo es una tarea pendiente que no puede postergarse. La educación sísmica es, además, un componente de la gestión integral del riesgo: la capacitación de la población es tan importante como la construcción de obras de mitigación o la actualización de la normativa. La reducción del riesgo sísmico no es solo una cuestión de ingeniería y normativa, sino también de educación y cultura.

Proyección: La educación sísmica no es un complemento de la ingeniería; es una condición de su efectividad. Sin una ciudadanía preparada, incluso las mejores soluciones técnicas quedan incompletas.

7.11. La gobernanza y la organización social

La brecha persistente entre el conocimiento técnico disponible y las decisiones de inversión pública es una manifestación de la vulnerabilidad institucional que subyace a la construcción social del riesgo (Oviedo, 2026). La trayectoria de La Guaira desde 1999 hasta 2026 evidencia que la ausencia de continuidad institucional es tan determinante como la magnitud de la amenaza: las obras de mitigación construidas tras el deslave de 1999 perdieron su capacidad protectora por falta de mantenimiento, y los planes de ordenamiento territorial fueron abandonados (Genatios, 2026). La gobernanza del riesgo exige, por tanto, no solo diseñar buenas políticas, sino garantizar su implementación, su financiamiento y su continuidad en el tiempo. La reducción de la vulnerabilidad es, en última instancia, una cuestión de justicia social y de voluntad política para redistribuir el poder sobre el territorio afectado.

Proyección: La gestión del riesgo no puede seguir siendo un conjunto de medidas aisladas; requiere una estrategia integral que articule el conocimiento técnico, la capacidad institucional y la participación social.

7.12. La dimensión económica y la protección financiera

La magnitud de los daños confirma que el evento superó la capacidad de respuesta del Estado y que la ausencia de protección financiera previa agravó el impacto (Tineo, 2026). La vulnerabilidad de las viviendas populares evidencia que las poblaciones de menores ingresos son las más afectadas y las que tienen menos capacidad de recuperación, lo que refuerza la necesidad de instrumentos de microseguro catastrófico. La protección financiera es, además, un componente de la gestión integral del riesgo: no basta con reconstruir; Se debe garantizar que el próximo evento no encuentre al país sin recursos para responder. La prevención es más rentable que la reconstrucción, y la protección financiera es una condición de la resiliencia.

Proyección: La protección financiera es una condición de la resiliencia. La adopción de seguros paramétricos, fondos de contingencia, bonos catastróficos y microseguros permitiría proteger tanto la integridad fiscal del Estado como la capacidad de recuperación de las personas y propietarios afectados.

7.13. La dimensión humana de la recuperación

La pérdida de vivienda, la interrupción de los servicios esenciales y la destrucción de medios de vida generan un impacto psicológico que trasciende la pérdida material y que condiciona la capacidad de recuperación de las personas afectadas (Caraballo, 2026). La ausencia de registros instrumentales y la limitada disponibilidad de información sobre el evento no solo limitan la caracterización física del fenómeno, sino también la capacidad de la población de comprender lo ocurrido y de elaborar la experiencia. La dimensión humana de la recuperación es, además, un componente de la gestión integral del riesgo: no basta con reconstruir las edificaciones, se deben también reconstruir las condiciones sociales y psicológicas que permiten a las comunidades habitar el territorio de manera segura y sostenible.

Proyección: La recuperación de un territorio afectado por un desastre sísmico no puede medirse únicamente por la reposición de los activos físicos. Requiere también atender la dimensión humana de la recuperación: el estado psíquico, orgánico y relacional de los habitantes, y el capital conductual de la población civil y la fuerza laboral. Sin esa dimensión, la reconstrucción será incompleta y las vulnerabilidades que causaron el desastre tenderán a reproducirse.

8. CONCLUSIONES

Las conclusiones sintetizan los hallazgos principales del ensayo, jerarquizándolos y derivándolos estrictamente de los hechos documentados. Se organizan en cinco apartados: la caracterización del evento (8.1); la respuesta estructural y geotécnica (8.2); la infraestructura, los servicios y la gestión del riesgo (8.3); la dimensión social, educativa, cultural y económica (8.4); y las lecciones aprendidas (8.5), que incluyen siete lecciones específicas del evento y del contexto venezolano.

8.1. Sobre la caracterización del evento

La secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 consistió en dos eventos principales separados por aproximadamente 30 a 40 segundos, con una ruptura que se propagó de oeste a este a lo largo de un tramo de aproximadamente 200 a 250 km del límite de placas Caribe-Sudamérica. La naturaleza multifocal del evento condicionó la respuesta estructural y la gestión del riesgo.

La falla de Bruscas emerge como una estructura clave en la caracterización del evento. Su identificación como falla asociada al segundo evento, sustentada en evidencia geológica, morfobatimétrica, de percepción remota y geodésica, plantea

la necesidad de incorporarla en los mapas de amenaza sísmica y en la normativa sismorresistente.

La recurrencia secular de los grandes terremotos en Venezuela norcentral está documentada por la coincidencia entre las intensidades máximas registradas en 2026 y las estimadas para los terremotos de 1812 y 1900. La geometría de los sismos de 2026 es esencialmente la misma que la de 1812, lo que sugiere un patrón tectónico bien establecido y una recurrencia de escala secular para eventos destructivos de magnitud equivalente. La recurrencia no es solo sísmica: los aludes torrenciales en La Guaira han ocurrido en 1999, 2005, 2010, 2011 y 2022, y la combinación de ambas recurrencias configura un escenario de riesgo compuesto.

La severidad del evento no se explica únicamente por su magnitud. La posibilidad de un régimen super-shear y de una superposición de ondas ha sido planteada como un factor que pudo amplificar la destructividad del movimiento. La caracterización de la directividad, los pulsos de velocidad y la carga secuencial refuerza la necesidad de incorporar estos criterios en la revisión de la normativa sismorresistente.

8.2. Sobre la respuesta estructural y geotécnica

Los mecanismos de daño observados durante el evento: piso blando, columna corta, fallas de confinamiento y solape, corrosión, mampostería sin confinamiento y cubiertas pesadas con conexiones deficientes, no fueron casos aislados ni propios de una tipología particular. Se manifestaron en edificaciones de diversa antigüedad, desde viviendas populares hasta edificios de mediana altura, y su persistencia después de más de cinco décadas de desarrollo normativo plantea la necesidad de revisar los criterios de diseño, ejecución y supervisión.

Los hechos documentados muestran que la seguridad estructural no depende solo del diseño: la fidelidad de la ejecución y la eficacia de la supervisión condicionaron el comportamiento de las edificaciones durante el evento. En las edificaciones construidas antes de los años 80, de manera general se cumplen las prescripciones normativas verificables; a partir de 1980, se detectan deficiencias significativas en los detalles constructivos que no fueron detectadas ni corregidas por los mecanismos de supervisión existentes.

La respuesta de sitio y los efectos locales explican la heterogeneidad de los daños. Los mayores daños se concentraron en zonas con mayores espesores de sedimentos, como Caraballeda y Altamira-Los Palos Grandes-San Bernardino, pero también en las mesetas de Playa Grande y Mamo, donde los efectos topográficos pudieron amplificar el movimiento. La microzonificación sísmica es la herramienta que permite identificar y caracterizar estos efectos de sitio.

La licuación y la deformación permanente del terreno afectaron a las edificaciones y la infraestructura en las zonas costeras bajas y en los abanicos aluviales. La relación entre la licuación y el derrumbe de edificios de gran altura sigue sin resolverse: nada en el conjunto de datos actual demuestra que el fallo del terreno sea un factor principal en el derrumbe, y nada descarta que el ablandamiento de los suelos de soporte haya sido un factor coadyuvante.

La interacción suelo-cimentación-estructura fue un factor determinante en la respuesta diferenciada de las edificaciones. La integridad resistente de la cimentación no equivale a estabilidad cinemática: una cimentación sin daño material visible puede asentarse, rotar o trasladarse con el terreno e imponer deformaciones incompatibles con la superestructura.

8.3. Sobre la infraestructura, los servicios y la gestión del riesgo

La infraestructura y los servicios esenciales presentaron un desempeño heterogéneo: la Autopista Caracas-La Guaira resistió sin daños importantes, mientras que la Carretera Panamericana colapsó por derrumbes y el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar y el Puerto de La Guaira vieron interrumpidas sus operaciones. Las presas de suministro de agua y de control de sedimentos no mostraron daños estructurales significativos, aunque su capacidad operativa está comprometida por condiciones preexistentes. Este contraste sugiere que la resiliencia de la infraestructura depende de factores como la ubicación respecto a las fallas activas, la redundancia de rutas y sistemas, la sectorización de las redes y la existencia de planes de contingencia. La interdependencia entre el sistema eléctrico y las redes de telecomunicaciones generó bucles destructivos en cascada que amplificaron los efectos del evento: la refinería El Palito interrumpió sus operaciones no por daños estructurales directos, sino por un corte de energía eléctrica.

La brecha entre el conocimiento técnico y las decisiones de inversión pública sigue siendo el rasgo dominante de la gestión del riesgo en Venezuela. La microzonificación sísmica, aunque desarrollada en varias ciudades del país, no se ha convertido en ordenanzas vinculantes en todos los casos. La normativa sismorresistente, aunque ha evolucionado desde 1939, no ha incorporado plenamente los criterios de campo cercano, directividad y carga secuencial. La evaluación de las obras de mitigación construidas tras los deslaves de 1999 revela que muchas han perdido su capacidad protectora por falta de mantenimiento sistemático. La calidad de la construcción, especialmente a partir de 1980, presenta deficiencias significativas que no fueron detectadas ni corregidas por los mecanismos de supervisión existentes.

La respuesta institucional movilizó una capacidad técnica sin precedentes. La Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras y su Comité Técnico Asesor inspeccionaron 63.070 edificaciones a nivel nacional, con 18% de Etiqueta Roja y 24% de Etiqueta Amarilla. Además, coordinaron la movilización de 71 equipos USAR de 31 países y la instalación de 14 hospitales de campaña. La propuesta de Norma Sismorresistente de Emergencia elaborada por el Comité Técnico Asesor constituye la respuesta normativa más concreta generada por el evento: amplifica el espectro por factor de campo cercano, limita la construcción en zonas próximas a la falla de San Sebastián, aumenta las fuerzas de diseño en pórticos con paredes de relleno frágiles, exige anclajes pared-estructura y reduce las derivas admisibles. La respuesta cartográfica de emergencia, articulada por una red de académicos e investigadores, demostró que la gestión de la

información geoespacial y la preservación activa de datos son funciones críticas de la respuesta humanitaria.

La gestión del riesgo requiere una estrategia integral que articule la microzonificación, la revisión normativa, la instrumentación sísmica, la evaluación de las obras de mitigación y la planificación local. La correspondencia entre las vulnerabilidades identificadas en estudios previos y los daños causados en 2026 demuestra que el conocimiento técnico existía, pero no se tradujo en medidas preventivas. La reconstrucción de La Guaira y del litoral central ofrece una oportunidad para cerrar esa brecha, pero solo si la planificación incorpora explícitamente la resiliencia como criterio de diseño.

8.4. Sobre la dimensión social, educativa, cultural y económica

El evento de 2026 confirmó que la dimensión cultural del riesgo no es un fenómeno anecdótico ni secundario: las representaciones sociales, las prácticas religiosas y los imaginarios colectivos condicionan la forma en que las comunidades perciben y enfrentan la amenaza, y por tanto deben integrarse en las estrategias de educación y comunicación del riesgo. La conservación del patrimonio construido, por su parte, es un componente de la gestión integral del riesgo que el evento evidenció como tarea pendiente: la ausencia de mantenimiento y la incompatibilidad de refuerzos históricos agravaron los daños en edificaciones patrimoniales, lo que exige estrategias de intervención específicas.

La educación sísmica y la preparación ciudadana son condiciones de la efectividad de las medidas técnicas. La ausencia de registros instrumentales del evento limita la capacidad de aprendizaje de la población. La vulnerabilidad de la infraestructura escolar es una manifestación de los mismos mecanismos de daño documentados en las edificaciones residenciales y comerciales.

La gobernanza del riesgo exige una transición desde el modelo clásico burocrático hacia un paradigma que involucre horizontalmente al Estado, la sociedad civil y el sector privado. La trayectoria de La Guaira desde 1999 hasta 2026 evidencia que la ausencia de continuidad institucional es tan determinante como la magnitud de la amenaza.

El impacto económico del desastre se agravó por la falta de protección financiera previa, que trasladó las pérdidas privadas hacia las finanzas públicas. La cobertura de seguros en Venezuela era exigua, las reservas fiscales resultaban insuficientes y los mecanismos de transferencia de riesgo a los mercados de capitales eran prácticamente inexistentes. La adopción de seguros paramétricos, fondos de contingencia, bonos catastróficos y microseguros permitiría proteger tanto la integridad fiscal del Estado como la capacidad de recuperación de las personas y propietarios afectados.

La dimensión humana de la recuperación, el estado psíquico, orgánico y relacional de los habitantes, y el capital conductual de la población civil y la fuerza laboral, condiciona la viabilidad de cualquier plan de reconstrucción. La recuperación de un territorio afectado por un desastre no puede medirse únicamente por la reposición de los activos físicos.

El impacto humano y económico del evento fue de gran magnitud. Las estimaciones de víctimas mortales oscilan entre 5.398 y 5.600 personas, según la fuente. La población en refugios temporales alcanzó las 23.843 personas. Las estimaciones de daños físicos directos oscilan entre 6 mil millones y 37 mil millones de dólares, según la metodología. Estas cifras confirman que el evento superó la capacidad de respuesta del Estado y que la ausencia de protección financiera previa agravó el impacto.

8.5. Lecciones aprendidas

El evento del 24 de junio de 2026 deja siete lecciones que deben orientar la reconstrucción de La Guaira y del litoral central, así como la gestión integral del riesgo de desastres en Venezuela. Estas lecciones se derivan de los hechos documentados por los 25 trabajos del Boletín y los 14 capítulos del informe GEER.

8.5.1. La recurrencia de los eventos es un dato de diseño, no una posibilidad remota

Hecho documentado: La coincidencia entre las intensidades máximas registradas en 2026 y las estimadas para los terremotos de 1812 y 1900 confirma que la región está sujeta a eventos de magnitud elevada con recurrencia secular. La recurrencia no es solo sísmica: los aludes torrenciales en La Guaira han ocurrido en 1999, 2005, 2010, 2011 y 2022.

Lección: La recurrencia de los eventos debe incorporarse como un dato de diseño en la planificación urbana, la normativa sismorresistente y la gestión del riesgo. Es un hecho documentado, no una posibilidad remota, y debe orientar las decisiones de inversión pública y privada.

Implicación: La reconstrucción de La Guaira y del litoral central debe planificarse para resistir el próximo evento, no solo para reponer lo destruido. La microzonificación sísmica, la revisión normativa y la evaluación de las obras de mitigación son instrumentos para traducir la recurrencia en medidas concretas.

8.5.2. El conocimiento técnico existía, pero no se tradujo en medidas preventivas

Hecho documentado: Las vulnerabilidades identificadas en estudios previos se materializaron con notable precisión durante el evento. La microzonificación sísmica, aunque desarrollada en varias ciudades, no se ha convertido en ordenanzas vinculantes en todos los casos. La normativa sismorresistente, aunque ha evolucionado desde 1939, no ha incorporado plenamente los criterios de campo cercano, directividad y carga secuencial. La evaluación de las obras de mitigación construidas tras los deslaves de 1999 revela que muchas han perdido su capacidad protectora por falta de mantenimiento sistemático.

Lección: La brecha entre el conocimiento técnico y la acción es el problema principal de la gestión del riesgo en Venezuela. El conocimiento debe traducirse en ordenanzas, presupuestos,

obras y mecanismos de supervisión que garanticen su implementación efectiva.

Implicación: La reconstrucción debe incorporar mecanismos institucionales que garanticen la implementación de las recomendaciones técnicas. La microzonificación debe convertirse en ordenanza; la normativa debe actualizarse y aplicarse; las obras de mitigación deben mantenerse. Sin esos mecanismos, el próximo evento encontrará al país en la misma situación.

8.5.3. La calidad de la construcción es tan determinante como el diseño

Hecho documentado: Los mecanismos de daño observados: piso blando, columna corta, fallas de confinamiento y solape, corrosión, mampostería sin confinamiento, fueron recurrentes en edificaciones de diversa tipología y antigüedad: edificios residenciales y comerciales, hospitales, escuelas, patrimonio religioso y viviendas populares. El 93% de los edificios evaluados construidos después de 1980 no cumplió con los cierres a 135° en las ligaduras de columnas, y el 95% presentó exceso de barras en los empalmes.

Lección: La calidad de la ejecución y el control de calidad en obra son tan determinantes como el diseño estructural. Un proyecto correctamente diseñado puede colapsar si la ejecución es deficiente. La supervisión, la inspección independiente y la trazabilidad documental son condiciones de la seguridad estructural.

Implicación: La reconstrucción debe incorporar mecanismos de control de calidad que garanticen que las edificaciones se construyan conforme al diseño. La selección de contratistas, la experiencia técnica de los inspectores y la verificación independiente son elementos esenciales de la seguridad estructural. La investigación forense de los colapsos, con preservación de evidencia antes de demoler, es una condición para identificar las causas y evitar su repetición.

8.5.4. La interdependencia de las líneas de vida amplifica los efectos del evento

Hecho documentado: La interdependencia entre el sistema eléctrico y las redes de telecomunicaciones generó bucles destructivos en cascada. La refinería El Palito interrumpió sus operaciones no por daños estructurales directos, sino por un corte de energía eléctrica. La interrupción de un servicio esencial puede generar efectos en cascada sobre las cadenas productivas y logísticas.

Lección: La resiliencia de las líneas de vida debe abordarse de manera integrada, no como una suma de sistemas independientes. La dependencia mutua entre los sistemas eléctrico, de telecomunicaciones, de agua y de transporte genera vulnerabilidades que no se resuelven con medidas aisladas.

Implicación: La reconstrucción debe incorporar redundancia, sectorización y planes de contingencia en las líneas de vida. La diversificación de rutas, la generación distribuida y los sistemas de comunicación de respaldo son medidas que reducen la vulnerabilidad sistémica.

8.5.5. La gobernanza del riesgo requiere continuidad institucional

Hecho documentado: La trayectoria de La Guaira desde 1999 hasta 2026 evidencia que la ausencia de continuidad institucional es tan determinante como la magnitud de la amenaza. Las obras de mitigación construidas tras el deslave de 1999 perdieron su capacidad protectora por falta de mantenimiento, y los planes de ordenamiento territorial fueron abandonados. La respuesta al evento de 2026 demostró que el país cuenta con capacidad técnica para organizar una evaluación masiva de daños, pero también que esa capacidad se activa de manera reactiva y no se sostiene en el tiempo.

Lección: La gestión del riesgo no es un problema solamente técnico; es un problema de gobernanza que exige continuidad institucional, financiamiento sostenible y capacidad técnica permanente. La ausencia de continuidad institucional es tan determinante como la magnitud de la amenaza.

Implicación: La reconstrucción debe incorporar mecanismos de participación social, transparencia y rendición de cuentas, así como garantizar la continuidad institucional, el financiamiento sostenible y la capacitación técnica a largo plazo. La gestión del riesgo no puede depender de la voluntad política de un gobierno específico: debe institucionalizarse como política de Estado.

8.5.6. La reconstrucción es una oportunidad para cerrar las brechas identificadas

Hecho documentado: La reconstrucción de La Guaira y del litoral central ofrece una oportunidad para cerrar las brechas entre el conocimiento y la acción, entre la normativa y su aplicación, entre la respuesta inmediata y la planificación de largo plazo. El evento de 2026 evidenció que las vulnerabilidades identificadas en estudios previos se manifestaron, y que la reconstrucción de 1999 no logró cerrar esas brecha.

Lección: La reconstrucción no debe entenderse como la reposición de lo destruido, sino como un proceso de aprendizaje que incorpore las lecciones del evento y garantice que el próximo evento encuentre al país mejor preparado. La prevención es más rentable que la reconstrucción, y la protección financiera es una condición de la resiliencia.

Implicación: La reconstrucción debe incorporar la microzonificación sísmica, la revisión normativa, la instrumentación sísmica, la evaluación de las obras de mitigación y la planificación local. Debe garantizar su implementación, su financiamiento y su continuidad en el tiempo. La publicación de este número especial del Boletín a los tres meses del terremoto busca contribuir al aprendizaje de lo ocurrido; ahora corresponde a los tomadores de decisiones y a la sociedad en su conjunto convertir ese conocimiento en acción.

8.5.7. La protección financiera es una condición de la resiliencia

Hecho documentado: La cobertura de seguros en Venezuela era exigua (0,9% del PIB en 2024, frente al 3,2% en América

Latina) y los mecanismos de transferencia de riesgo a los mercados de capitales eran prácticamente inexistentes. La ausencia de protección financiera previa trasladó las pérdidas privadas hacia las finanzas públicas.

Lección: La ausencia de protección financiera previa agravó el impacto económico del desastre y trasladó las pérdidas privadas hacia las finanzas públicas. La protección financiera no es un complemento de la gestión del riesgo, sino una condición de la resiliencia.

Implicación: La reconstrucción debe incorporar instrumentos de protección financiera: seguros paramétricos, fondos de contingencia, bonos catastróficos y microseguros, que protejan tanto la integridad fiscal del Estado como la capacidad de recuperación de las personas afectadas. Su adopción requiere una base técnica de modelación probabilística de riesgos y un marco institucional que garantice que las primas pagadas se conviertan en protección efectiva.

Las siete lecciones aprendidas configuran un marco de referencia para la reconstrucción de La Guaira y del litoral central. El evento del 24 de junio de 2026 deja un balance de destrucción y de aprendizaje. La caracterización física del evento, la evaluación de la respuesta estructural y geotécnica, el análisis del desempeño de la infraestructura y los servicios, la reflexión sobre la gestión del riesgo y la consideración de la dimensión social, educativa, cultural y económica configuran un cuadro complejo que exige respuestas integrales. La reconstrucción de La Guaira y del litoral central es una oportunidad para cerrar las brechas identificadas, pero solo si la planificación incorpora explícitamente las lecciones del evento y garantiza su implementación, su financiamiento y su continuidad en el tiempo. La publicación de este número especial del Boletín a los tres meses del terremoto es una expresión de la voluntad de aprender de lo ocurrido; ahora corresponde a los tomadores de decisiones y a la sociedad en su conjunto convertir ese conocimiento en acción.

REFERENCIAS

Arnold, L., Varela, P., Sánchez, K., Castro-Bolinaga, C., y García, E. (2026). Estabilidad sísmica de taludes y peligros compuestos. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 10). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Audemard, F. A. (2026). Geodinámica y sismotectónica de los sismos del estado La Guaira del 24 de junio de 2026, Venezuela Norcentral: gran ruptura multifocal. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/169

Balza, N. J., y Montecalvo Di Fiore, A. (2026). Vulnerabilidad estructural y desafíos de conservación en el patrimonio religioso de Venezuela: lecciones y evaluaciones tras el evento sísmico del 24 de junio de 2026. Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/191

Barba, D., Kuncar, F., Cabas, A., y Xu, K. (2026). Características del movimiento del suelo y efectos locales del sitio. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 6). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Bonilla, G. (2026). Respuesta estructural y control de calidad en obra. Lecciones, debilidades y cambios necesarios tras el terremoto de La Guaira 24 de junio 2026. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/178

Caraballo, L. G. (2026). Rediseño Urbano y Continuidad de Operaciones Post-Sismo en el Eje Caracas - La Guaira: Un Modelo de Prospectiva Territorial Basado en el Control de Intangibles y Sintonización Neurofisiológica. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/188

Carrillo, E. (2026). Tectónica regional. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 3). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Carrillo, E. (2026). Contexto geológico. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 4). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

De Viana, J. M. (2026). Resiliencia y recuperación funcional de redes de telecomunicación móviles. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/183

Echezuría, H. (2026). Aspectos conceptuales de varios mecanismos focales y sus efectos en los sismos y obras de ingeniería. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/171

Estévez, R. (2026). Responsabilidades e incertidumbres en torno a la gestión municipal de los riesgos socionaturales y tecnológicos. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/187

Fargier-Gabaldón, L., Pinto, F., Mata Lemus, R., Núñez, E., y Dickson, M. (2026). Impactos en edificios de ingeniería. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 11). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

García, R. (2026). Enseñanzas geológicas aplicadas al terremoto de La Guaira 24/06/26. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/172

Genatios, C. (2026). Vargas, La Guaira: de los deslaves a los terremotos. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/185

Genatios, C. y Lafuente, M. (2026). Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela. Revisión de la fuente sísmica, efectos de campo cercano, respuesta de sitio y lecciones para la normativa sismorresistente. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/177

González, C., y Ugas, L., Ascanio, A., Rincón, I., Cisneros, L. y Contreras, R. (2026). Cartografía de respuesta rápida para la Gestión de Emergencias y Desastres: Uso de fuentes secundarias en la evaluación de daños del evento sísmico denominado Terremoto de La Guaira 24J, 2026. *Boletín De*

La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/186

Lafuente, M. (2026). El sismo del 24 de junio de 2026 en Venezuela: análisis preliminar de daños en edificaciones en Caracas y La Guaira, y lecciones para la gestión del riesgo. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/175

Liñayo, A., Páez, G. A., y Uzcátegui, M. (2026). Mapa de máximas intensidades sísmicas estimadas para Venezuela en el período 1530-2026. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/170

López, J. L. (2026). Evaluación del estado físico y funcional de las obras de mitigación de riesgos construidas en el Estado La Guaira a raíz de los deslaves de 1999. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/184

López, O. A., Rengel, J. G., Páez, V., Rojas, R., Marinilli, A., Fernández, N., Torres, R., Núñez, E., Coronel D., G., Marcial, D., Hernández, L., Baloa, T., Villegas, A., González, R., Lafuente, M., Idrees, A., Mata, R., Ascanio, W., Rengel, H., y Herrera, A. (2026). El terremoto de La Guaira: evaluación de habitabilidad y respuesta institucional. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/181

Mariño, N. (2026). De la memoria sísmica a la educación sísmica: cómo actuar y aplicar protocolos de protección personal. Lecciones tras los sismos del 24/06/2026. Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/189

Montalva, G. A., Varela, P., Pinto, F. J., Mata-Lemus, R., y Zakka, W. (2026). Licuación. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 9). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Nie, S. (2026). Sismicidad y características de la fuente sísmica. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 5). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Oviedo, L. M. (2026). La reorganización del entramado social en las zonas afectadas por el doblete sísmico del 24 de junio en Venezuela. Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/190

Páez-Pumar, E. (2026). Terremoto de Caracas y La Guaira del 24 de junio de 2026. Vulnerabilidad de accesos y servicios públicos. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/182

Paul, N., Dickson, M., y Cabas, A. (2026). Impactos humanos y económicos. En Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela (Cap. 14). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Perri, J. F., y Ramírez, J. (2026). Impactos en las presas. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 12). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Pinto, F. (2026). Evidencias empíricas del impacto del comportamiento del suelo en la respuesta estructural de las edificaciones durante el terremoto del 24 de junio de 2026 en Venezuela. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/180

Rebonatto D., M. A. (2026). Manual monográfico de resiliencia urbana y blindaje estructural sismorresistente. Análisis de los colapsos en Caracas y La Guaira bajo la normativa NCh433. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/179

Rodríguez, J. A., Leal Guzmán, A., y Singer Michelle, A. (2026). Aproximación a la hagiografía sísmica de Venezuela. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/192

Rose, A., et al. (2026). Redes de servicios esenciales. En Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela (Cap. 13). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Schmitz, M. (2026). Aportes de la microzonificación sísmica para la mitigación del riesgo sísmico en Venezuela — avances y desafíos (compendio del TIA). *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/173

Schmitz, M., Alvarado, L., Contreras, R., Hernández-Ramos, L. M., y Mocquet, A. (2026). Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela: estructuras litosféricas en el norte de Sudamérica, comportamiento de las réplicas y la importancia de la microzonificación sísmica para la reconstrucción de La Guaira. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/174

Tineo, L. (2026). Los terremotos de Venezuela: Cuando las pérdidas no tienen cobertura. Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/193

Urich, A. (2026). Incompatibilidad entre pórticos y paredes de relleno de mampostería: lecciones recurrentes ratificadas tras el terremoto de La Guaira de 2026. *Boletín De La Academia De La Ingeniería Y El Hábitat*, (72). https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/176

Varela, P. (2026). Evidencia remota de deformación del terreno. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 7). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Varela, P., Perri, J. F., Pinto, F., y Zakka, W. (2026). Ruptura de la superficie del terreno a lo largo de la falla. En *Informe GEER: Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela* (Cap. 8). Geotechnical Extreme Events Reconnaissance.

Weisbord, N. E. (1957). Notes on the geology of the Cabo Blanco area, Venezuela. *Bulletins of American Paleontology, 38*(165), 1–25.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 80 – 92
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/169

GEODINÁMICA Y SISMOTECTÓNICA DE LOS SISMOS DEL ESTADO LA GUAIRA DEL 24 DE JUNIO DE 2026, VENEZUELA NORCENTRAL: GRAN RUPTURA MULTIFOCAL

Franck A. AUDEMARD M.[1]

RESUMEN

Este trabajo analiza la geodinámica y sismotectónica de la secuencia sísmica ocurrida el 24 de junio de 2026 en el norte-centro de Venezuela. En lugar de un doblete convencional, el evento correspondió a una ruptura multifocal gatillada en la falla de Boconó (Mw 7,2; profundidad ~20–27 km) que propagó la energía hacia el este, desencadenando la liberación principal en la falla de San Sebastián / Bruscas al norte de La Guaira (Mw 7,5; profundidad ~10 km). Esta secuencia replicó de forma casi idéntica el patrón del terremoto histórico de 1812, llenando una brecha de quiescencia sísmica de más de dos siglos. Además, la deformación marina generó olas de tsunami de 0,5 a 1,25 m e indujo deslizamientos submarinos.

ABSTRACT

Geodynamics and Seismotectonics of the La Guaira State Earthquakes of June 24, 2026, North-Central Venezuela: A Major Multifocal Rupture

This study evaluates the geodynamics and seismotectonics of the June 24, 2026 seismic sequence in north-central Venezuela. Rather than a conventional doublet, the event represents a multifocal rupture nucleated along the Boconó Fault (Mw 7.2; ~20–27 km depth), which propagated eastward to trigger the main moment release along the offshore San Sebastián / Bruscas Fault system near La Guaira (Mw 7.5; ~10 km depth). This multi-event sequence closely replicated the historic 1812 earthquake rupture pattern, effectively filling a 214-year seismic gap. Additionally, the coseismic displacement and associated submarine landslides produced tsunami waves ranging from 0.5 to 1.25 meters.

Palabras clave: Ruptura multifocal, falla de Boconó, falla de San Sebastián, silencio sísmico, tsunami, tectónica activa.
Keywords: Multifocal rupture, Boconó fault, San Sebastián fault, seismic gap, tsunami, active tectonics.

Introducción

Audemard (2014a) sintetiza que "la comprensión del Caribe y sus bordes de placa en los últimos 35 años de manera general ha definitivamente mejorado, a pesar de hacerse progresivamente mucho más compleja. De hecho, las fronteras de la placa Caribe son zonas de borde de placa –ZBP-, en las cuales bloques tectónicos de diverso tamaño, composición, origen y geometría están amalgamados (Figura 1). Estos bloques de cierta forma rodean la meseta oceánica del Caribe. El reconocimiento de estos bloques tectónicos ocurrió primero a lo largo de su frontera sur, como consecuencia que el límite de placa era menos sobresaliente. Ello se vio ampliamente favorecido por estar la frontera en áreas continentales (Figura 1). Por el contrario, el borde septentrional de la placa Caribe se convirtió en un laboratorio natural de geodesia satelital por GPS, como consecuencia de su aparente simplicidad estructural. Sin embargo, las redes GPS no resolvieron las incógnitas cinemáticas planteadas, dado que las redes están instaladas en pequeñas islas, las cuales están inmersas dentro de la propia zona de deformación (Figura 1). Varias de estas islas de hecho existen por los procesos contractivos que las han elevado fuera del mar, tal como Jamaica y La Española. Igual situación se presenta a lo largo del borde de placa entre las placas Caribe y Atlántica. Puntos de referencia estable dentro del mar Caribe, tales como las islas de San Andrés, Providencia y Aves, son necesarios para resolver el movimiento relativo entre las placas Norte-americana y Caribe".

Complementa diciendo que "el proceso de partición de las deformaciones de distintas escalas es común a las cuatro fronteras de la placa Caribe. En América Central, una franja costera, limitada por la trinchera mesoamericana y el arco volcánico activo, escapa hacia el NO, aprovechando el debilitamiento de la corteza continental de la placa Caribe por el volcanismo activo a nivel de la América Central. Igual situación es reportada en la porción norte de las Antillas Menores, donde el antearco de este sector de las Antillas se desplaza hacia el norte relativo al resto del arco volcánico. En el límite de placas Norteamérica-Caribe, la franja más septentrional de la isla La Española, limitada entre las fallas

[1] Escuela de Geología Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Ciudad Universitaria, Paseo Los Ilustres, Los Chaguaramos, Caracas 1050, Venezuela (Prof. Titular). También, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Jubilado y Asesor permanente). Miembro de las Comisión de Ambiente y Comisión Editora de la Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat (ANIH). faudemard@gmail.com

Española Norte y Septentrional, al norte y sur respectivamente, se desplaza hacia el oeste con respecto al resto de La Española. En el margen sur de la placa Caribe, el bloque de Bonaire, así como el bloque que contiene las napas Caribe sobrecorridas en el norte de Venezuela (aflorantes en Cordillera de la Costa y serranías del Interior central y oriental), hacen lo propio (Figura 2) aunque a tasas de movimiento más lento que en los otros bordes de placa".

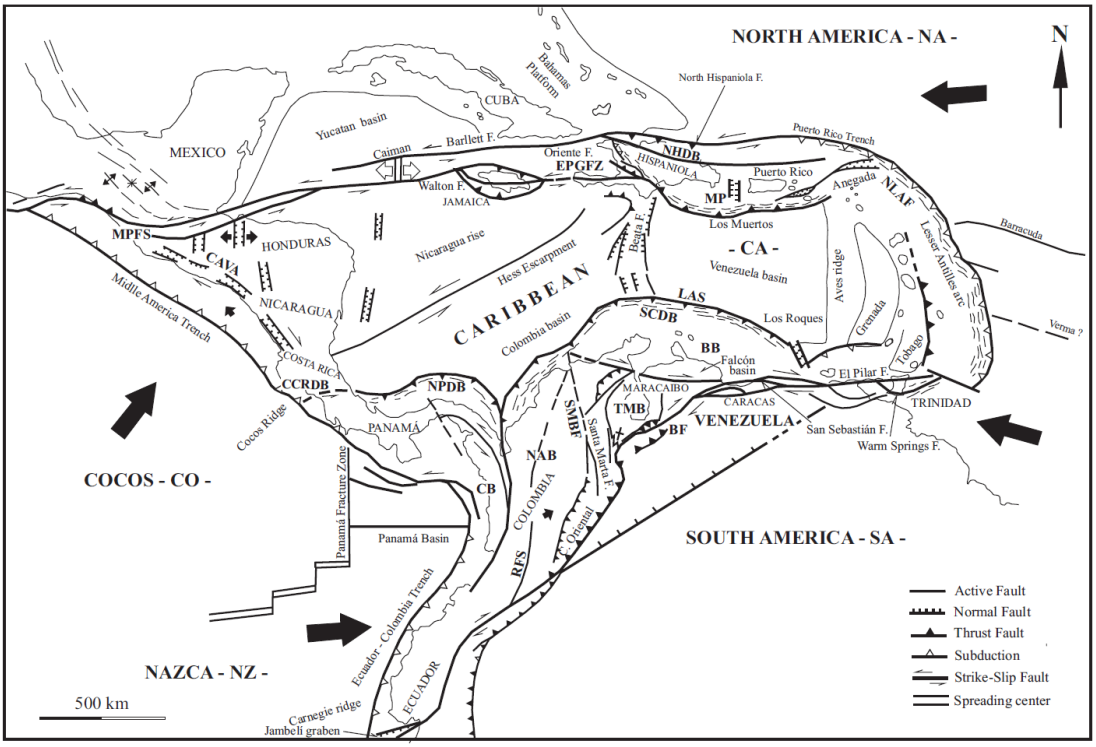


Figura 1. *Rasgos tectónicos mayores de la región caribeña (modificado de Stephan, 1982). Abreviaturas (iguales al del texto): BB Bloque de Bonaire; BF Falla de Boconó; CAVA Arco volcánico de América Central; CB Bloque Chocó; CCRDB Cinturón de deformación de Costa Rica Central; EPGFZ Zona de falla de Enriquillo-Plantain Garden; LAS Subducción de las Antillas de sotavento; MP Paso de la Mona; MPFS Sistema de falllas de Motagua-Polochic; NAB Bloque Norandino; NHDB Cinturón de deformación de Española Norte; NLAF Antearco de las Antillas Menores del Norte; NPDB Cinturón de deformación Nor-Panameño; RFS Sistema de Fallas de Romeral; SCDB Cinturón de deformación Sur-Caribeño; SMBF Falla de Santa Marta-Bucaramanga; TMB Bloque Triangular de Maracaibo (tomado de Audemard, 2014a).*

Por último, Audemard (2014a), recalca que "por otra parte, la indentación y expulsión de bloques, así como subducciones inducidas, son procesos igualmente frecuentes en los bordes de la placa Caribe. La indentación por altos o relieves submarinos de alta flotabilidad (ej., Carnegie y Cocos), como motor de expulsiones de bloques tectónicos, ha sido invocado para el bloque Norandino y la franja costera de América Central que se extiende entre Costa Rica y Guatemala, respectivamente (Figura 2). En otros casos, tales particiones de deformaciones han sido atribuidas a la covergencia oblicua entre la placa subducida y la sobrecorrida, como para el caso del antearco de las Antillas Menores del norte y el bloque septentrional de La Española. No obstante, el mejor ejemplo regional de indentación-expulsión lo conforma la colisión y posterior suturación del bloque del Chocó (originalmente perteneciente al Arco de Panamá) contra la fachada occidental suramericana, que induce la expulsión de una gran porción de Suramérica, que se extiende entre el golfo de Guayaquil o graben de Jambelí, en Ecuador, y las Antillas Holandesas de Sotavento, al norte de Venezuela, incluyendo toda Colombia montañosa (Figuras 1 y 2). Este proceso es relativamente joven, probablemente iniciado en el Mioceno superior, con el cierre parcial del canal del Caribe, pero hecho efectivo ya en el Plioceno (5-3 Ma), cuando ocurre el paroxismo tectónico más reciente de la Cordillera Oriental de Colombia y de los Andes de Mérida en Venezuela, al igual que la transcurrencia dextral del sistema que se extiende entre las fallas de Puná (Ecuador) y Boconó (Venezuela). Parte del retardo en el acoplamiento efectivo del bloque de Chocó contra Suramérica, además de la oblicuidad entre los bloques en confrontación, puede deberse a la baja rigidez del indentor (Arco de Panamá), el cual sufre fuertes deformaciones internas (flexión oroclina y fallamiento sinestral de orientación NO-SE). El choque efectivo del bloque Chocó conlleva a la expulsión de los bloques Norandino,

Maracaibo y Bonaire hacia el NNE (Figuras 2 y 3). La subducción que conlleva a esta colisión está hoy día parcialmente fosilizada entre el bloque Chocó y Suramérica, en asociación al sistema de fallas de Romeral. Esta colisión tiene expresión superficial hasta la latitud de 4° N en Colombia, y se expresa en superficie por el alineamiento ENE-OSO de las fallas de Garrapatas, Río Verde, Ibagué y el cambio de estilo estructural del piedemonte llanero de la Cordillera Oriental de Colombia de transcurrencia dextral al sur al de transpresión dextral al norte, aproximadamente a la latitud de Santa Fé de Bogotá. En profundidad, tal cambio estructural al nivel de la losa de subducción de afinidad caribeña (y fuertemente suturada contra el bloque Chocó al sur del golfo de Urabá), coincide con el mal llamado "desgarre" de Caldas (de hecho, resultan ser dos losas distintas parcialmente solapadas), ubicado algo más al norte (5,6° N), cuya expresión superficial llega hasta la latitud de 4° N. Esta losa de subducción ha sido muy bien definida recientemente con base en anomalías de velocidades de ondas P, la cual se hunde hacia el ESE, bajo el bloque triangular de Maracaibo y los Andes de Mérida, hasta profundidades de 700 km, pero no alcanza extenderse más al norte de la falla de Oca-Ancón, la cual debe funcionar como su desgarre norte, para separarla de la subducción inducida de las Antillas de Sotavento, a la cual se asocia el cinturón de deformación surcaribeño. A partir de vectores GPS, el bloque Norandino *sensu stricto* puede ser subdividido en hasta 13 bloques tectónicos menores, tal como a fines del Proyecto GEORED del Servicio Geológico Colombiano; pero a fines de modelación de deformación rígida, se ha fragmentado de manera conservadora en sólo 3 grandes sub-bloques. Por su parte, el interior de la placa Caribe parece ser una única unidad rígida, al menos hasta la resolución de los resultados GPS del orden de 2-3 mm/a. El escarpe de Hess, el cual presenta una actividad sísmica no despreciable en su extremidad suroeste, parece moverse en ese orden de velocidad. No obstante, en términos de la evolución geodinámica neógena del Caribe, este rasgo mayor submarino que corta en dos el piso oceánico Caribe en dirección NE-SO, yuxtapone dos entidades caribeñas muy dispares a simple vista. Proponemos que este accidente puede haber jugado un rol muy importante en la migración relativa hacia el este de la parte meridional caribeña, la contentiva del LIP o meseta oceánica, en el Mioceno medio y el Mioceno superior. Actualmente, se estaría iniciando una reactivación moderna, igualmente con movimiento predominantemente sinestral con componente subordinada normal; pero esta vez ligada a la subducción del alto de Cocos de alta flotabilidad" (Figura 1).

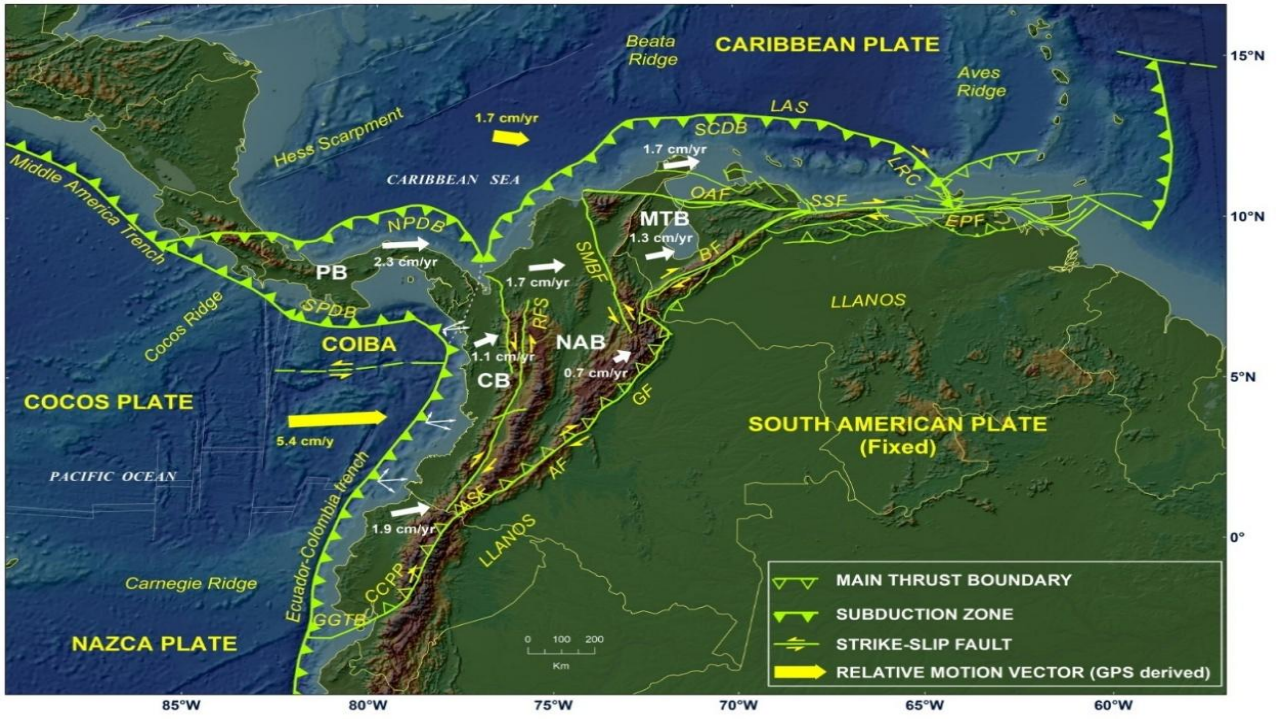


Figura 2. *Mapa geodinámico simplificado del Noroeste de Sudamérica, mostrando los bloques mayores o microplacas, rodeados por las placas mayores (Nazca, Caribe y América del Sur). Abreviaturas empleadas: A) Para bloques o microplacas: BB Bonaire block, CB Chocó (o Baudó) block, MTB Maracaibo Triangular block, NAB North Andean block and PB Panamá block o microplate. B) Para fallas: AF Algeciras fault, ASF Afiladores-Sibundoy fault, BF Boconó fault, CCPP Cosanga-Chingual-Pallatanga-Puná fault, EPF El Pilar fault, GF Guaicáramo fault, LAS Leeward Antilles subduction, NPDB North Panamá Deformed Belt, OAF Oca-Ancón fault, RFS Romeral fault system, SCDB South Caribbean Deformed Belt, SMBF Santa Marta-Bucaramanga fault, SSF San Sebastián fault (modificado de Audemard, 2009). GGTB significa Guayaquil Gulf-Tumbes basin y LRC para Los Roques canyon. This figure also shows velocity vectors of GPS stations located on the NAS with respect to South America expressed in ITRF2008, obtained by the Space Geodesy Group of the Geological Survey of Colombia (según Mora-Páez et al., 2019). (tomado de Audemard et al., 2021).*

La tectónica activa de Venezuela, en esa ZBP meridional Caribe, debe ser relacionada con la interacción entre las placas Caribe, Suramérica y Nazca e igualmente con otros bloques continentales de menores dimensiones entrampados entre las placas antes indicadas. Esta interacción varía dramáticamente del este hacia el oeste (e.g., Audemard, 2002). Venezuela presenta la mayor parte de sus deformaciones neotectónicas –generadoras de una gran actividad sísmica–, en una franja de unos 100 a 150 kilómetros de ancho, definida por el eje cordillerano-costero del país y constituida por el sistema de grandes fallas activas de tipo transcurrente dextral conocidas como fallas de Boconó, San Sebastián, El Pilar y Los Bajos, las cuales se desarrollan de manera continua desde la frontera colombo-venezolana en el Táchira hasta la Isla de Trinidad sobre una distancia de unos 1.500 kilómetros (Audemard y Singer, 1997). Estas fallas geológicas principales permiten caracterizar la distribución hipocentral de los sismos mayormente dentro de un carácter cortical, es decir, eventos sísmicos cuyos valores no superan los 40 km de profundidad (Figura 4). Adicionalmente, estas fallas han sido las causantes de los principales eventos sísmicos ocurridos en Venezuela (1812, 1853, 1894, 1900 y recientemente 1967 y 1997), y claramente se puede observar la correlación que existe entre la distribución de los epicentros y las fallas activas presentes en el territorio nacional (Figura 4). Sin embargo, es posible compilar información sobre eventos sísmicos de profundidad intermedia localizados, espacialmente, en los extremos este y oeste de Venezuela, y cuyos procesos geodinámicos están asociados a zonas de subducción que agregan complejidad al panorama tectónico de la región.

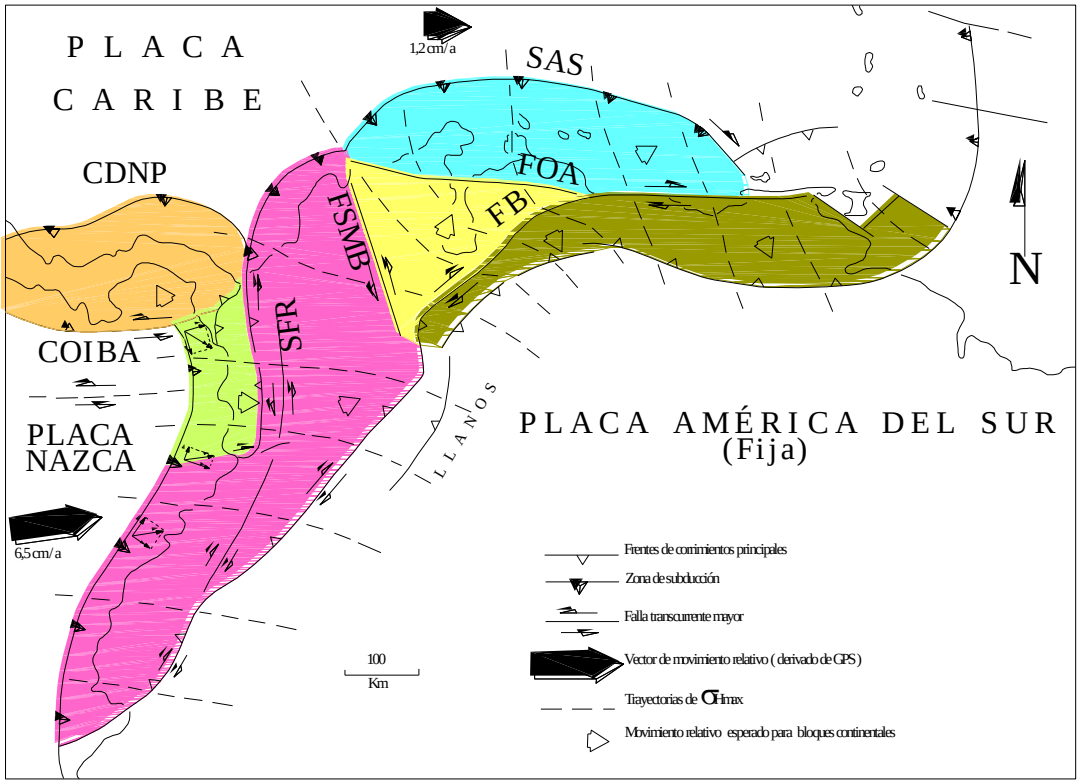


Figura 3. *Marco geodinámico del norte de Suramérica, donde se muestra la fragmentación de la región en diversos bloques continentales como consecuencia de la suturación del bloque del Chocó (en verde) contra Suramérica. Se indica igualmente los movimientos relativos esperados de distintos bloques tectónicos o compartimientos con referencia a Suramérica fija (tomado de Audemard, 2002).*

Las regiones más pobladas venezolanas, que corresponden a los cinturones montañosos del norte y oeste del país, se asientan en donde se concentra lo esencial de la actividad sísmica, tanto en tiempos históricos como modernos. Pérdidas cuantiosas han generado los terremotos de Cumaná de 1530, La Grita de 1610, Cúa de 1641, Cumaná de 1797, Caracas de 1812, Mérida de 1812, Cumaná de 1853, Cúa de 1878, Santa Cruz de Mora de 1894, Santa Úrsula (Curiepe) de 1900, Cumaná de 1929, El Tocuyo de 1950 y más recientemente Caracas de 1967, Cariaco de 1997 y Tucacas de 2009; sin ser necesariamente sismos de grandes magnitudes (Ms ≥ 7,0).

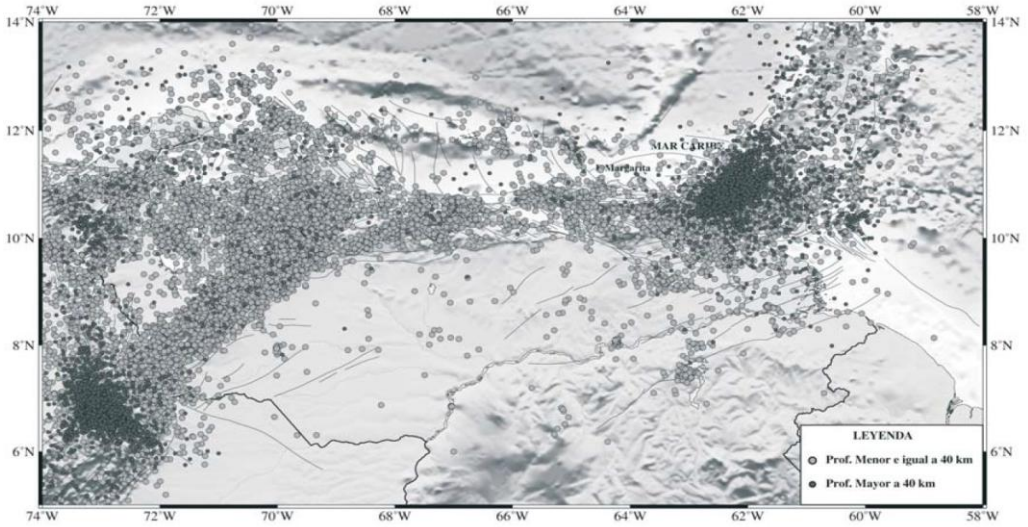


Figura 4*. Mapa de Venezuela con la distribución de los sismos según sus profundidades, registrados en el período 1910-2008 (tomado de Palma et al., 2010).*

Dado que los períodos de retorno de los grandes sismos venezolanos por segmentos de falla sismogénicos son superiores a los 300 años con base en la tasa de desplazamiento anual de las fallas más rápidas y activas del país (Audemard et al., 2000), los segmentos de fallas responsables de los grandes terremotos destructores (Ms ≥ 6,9) ocurridos en los últimos 200 años sobre las fallas activas principales tanto en longitud (continuidad lateral) como en velocidad de desplazamiento, partiendo del hecho que las mismas deberían encontrarse actualmente en el medio del ciclo inter-sísmico, aplicando el concepto de gap sísmico o "silencio" o quiescencia sísmica, el cual debe estar reflejado en los patrones de actividad sísmica contemporánea, Audemard (2002) evalúa los sismos venezolanos más grandes en dicha ventana de tiempo (siglos XIX y XX) en relación con dicho contexto tectónico: 1812, 1853, 1894 y 1900; aunque también identifica otros "gaps" sísmicos, de igual importancia, con potencialidad de romperse en el futuro e intenta proponer ubicaciones tentativas de algunos sismos destructores pero de magnitudes intermedias (5,0 < Ms < 6,9). Muy particularmente, los recientes sismos del 24 de junio de 2026 de magnitud Mw 7,2 y 7, 5 y separados de 39 segundos (USGS, 2026), con epicentros en los estados Yaracuy primero y al norte del estado La Guaira después (GFZ, 2026), viene a llenar esa zona de quiescencia sísmica posterior al sismo de La Guaira-Caracas del Jueves Santo de 1812, el cual trataremos en esta contribución (Figura 5).

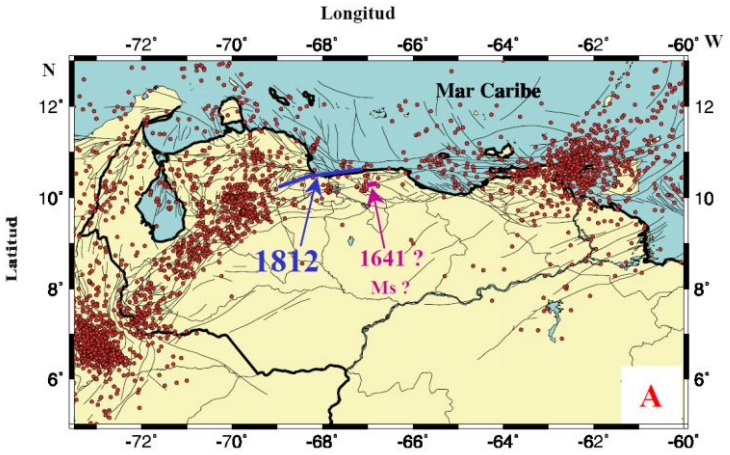


Figura 5. *Sismicidad instrumental de Venezuela con magnitud superior a 3,5 entre 1910 y abril de 2002 (catálogo FUNVISIS). La asociación de la sismicidad con la deformación frágil es muy clara. No obstante, se determina la presencia de quiescencia sísmica (gap sísmico), con los cuales Audemard (2002) postuló la extensión lateral de varias probables rupturas cosísmicas de sismos históricos (extracto de la figura 2 de Audemard, 2002).*

Marco geodinámico

Como ya hemos indicado, la tectónica activa de Venezuela debe ser necesariamente relacionada con la interacción entre las placas Caribe, Suramérica y Nazca e igualmente con otros bloques continentales de menores dimensiones entrampados entre las placas antes indicadas (Audemard et al., 2000, 2005, 2006). Esta interacción varía dramáticamente del este hacia el oeste (Figuras 1 a 3). Mientras que el norte de Venezuela está esencialmente afectado por la interacción directa entre las placas Caribe y Sudamericana, Venezuela occidental muestra un contexto geodinámico más complejo (Audemard, 2000; Figuras 2 y 3). Un amplio consenso establece que la placa Caribe se mueve aproximadamente hacia el este relativamente a Suramérica (Bell, 1972; Malfait & Dinkelman, 1972; Jordan, 1975; Pindell & Dewey, 1982; Sykes et al., 1982; Wadge & Burke, 1983; Freymueller et al., 1993; Kellogg & Vega, 1995; entre muchos otros), pero no es un límite de placa rumbo-deslizante sencillo (Soulas, 1986; Beltrán, 1994) ya que es una zona de deformación transpresional *s.l.* (compresiva transcurrente) de más de 100 km de ancho (Figura 3**;** Audemard, 1993; Singer & Audemard, 1997; Audemard, 1998). Relieves importantes (las serranías de la Costa y el Interior, tanto en el centro como en oriente) están asociados con este límite de placas septentrional de orientación este-oeste. Este cinturón de deformación compresivo-transcurrente se extiende hacia el SW a lo largo de los Andes de Mérida, donde ambos piedemontes y la cadena en sí son acortados transversalmente en dirección NW-SE, mientras que la falla de Boconó –ubicada aproximadamente en posición axial en el corazón de la cadena- acomoda movimiento transcurrente dextral. La partición de las deformaciones tanto en los Andes venezolanos como en la serranía del Interior nororiental fue propuesta por Rod (1956) y otros autores, mucho antes que se definiera el concepto. Este mismo mecanismo ocurre en Venezuela norcentral y nororiental, donde respectivamente el orógeno es acortado en dirección NNW-SSE, mientras las fallas de San Sebastián y El Pilar se desplazan de manera dextral. Por lo tanto, el cinturón de deformación activo venezolano (el cual comprende los Andes y las serranías de La Costa-Interior en el centro y oriente; y podría hacerse extensivo al Anticlinorio de Falcón, aunque hoy en día es un accidente subordinado dentro del proceso de deformación) pertenece a un tipo de orógenos de distribución mundial caracterizados por partición de deformaciones o esfuerzos, tales como: los Alpes de Nueva Zelandia (con la falla Alpina), Sumatra (con la Gran Falla Sumatrana), Japón central –isla de Honshu- (con la Línea Tectónica Media –Median Tectonic Line-) y hasta inclusive los Andes meridionales de Suramérica (con la falla de Atacama). El régimen compresivo-transcurrente a lo largo de la totalidad del sector norte del país, resultante de un vector de convergencia oblicuo entre las placas Caribe y Sudamericana de orientación WNW-ESE (N 75º W, según Minster & Jordan, 1978), es responsable del mecanismo de partición de deformaciones imperante, donde la transcurrencia es acomodada por las fallas mayores (Oca-Ancón, San Sebastián, El Pilar) y sus Riedels sintéticos (R: Urumaco, Río Seco, fallas NW-SE de la costa oriental falconiana, Río Guárico, Tácata, Píritu, San Mateo (Jose), Urica y San Francisco; entre muchas otras fallas activas), mientras el acortamiento transverso es distribuido entre las fallas inversas (cabalgamientos) de los bordes sur de la Cordillera de la Costa (por ejemplo: Cantagallo) y de la Serranía del Interior (Pirital, entre otros; en asociación con plegamiento bien desarrollado y activo); así como en Falcón por un intenso plegamiento y fallamiento inverso de dirección ENE-WSW (Audemard, 1993; 1997).

Más recientemente, entendemos que esta ZBP a todo lo largo del territorio nacional acomoda partición de deformaciones, y tal como lo resume Audemard (2009), a pesar que muchos autores han considerado al sistema transcurrente dextral de Boconó-San Sebastián-El Pilar como el límite de placa en transformación (*e. g.*, Hess y Maxwell, 1953; Schubert, 1979; Stéphan, 1985; Pérez et al., 2001a, 2001b), otros afirmamos que la deformación está distribuida sobre una franja ancha de un centenar de kilómetros o más, donde se ha interpretado una estructuración en orógeno flotante tanto en Los Andes de Mérida (Audemard, 1991; Jácome, 1994; Audemard y Audemard, 2002; Chacín *et al.*, 2005; Monod *et al.*, 2010; Rondón, 2016; Ávila-García *et al.*, 2022), a través de la cuenca de Falcón (Porras, 2000) y en Venezuela nororiental (Ysaccis, 1997; Ysaccis *et al.*, 2000**;** Figura 3). Ello implica que la frontera de placas del norte de Suramérica en territorio venezolano está por definición flanqueada tanto por una subducción tipo A como por una B en toda su extensión (Figura 3). Y de manera particular, el extremo más oriental de este ancho cinturón particionado evoluciona en un típico STEP (*Subduction to Transform Edge Propagator*) según la acepción, por ejemplo, de Govers y Wortel (2005), con la presencia de desgarres litosféricos.

En términos de evolución geodinámica durante el Terciario y el Cuaternario, tal como lo plantea Audemard (2009), y tal cómo ha sido reproducido digitalmente por el modelo evolutivo de Montheil et al. (2025), la PBZ del Caribe meridional se inició ya en el Cretácico como subducción oblicua de tipo B, donde la corteza oceánica sudamericana subducía hacia el NW bajo el LIP (*Large Igneous Province*, por sus sigla en inglés) Caribe (CLIP), dando sucesivamente paso a una creciente colisión oblicua progresivamente más joven al este (con creciente superficie de contacto y acoplamiento), que fue permitiendo el sobrecorrimiento de las napas de afinidad Caribe de vergencia SSE sobre el margen pasivo Jurásico indeformado del norte de Suramérica. A medida que la colisión se hizo insostenible por el creciente acoplamiento, la transpresión particionada tomó el relevo (Audemard, 1993, 1998, 2009), implicando que la transcurrencia asumió un rol preponderante en tiempos más recientes. Este autor indica que la activación de la transcurrencia se inicia en el Oeste a unos 17 Ma (sistema de fallas de Oca-Ancón) y alcanza el oriente venezolano, a la Falla El Pilar, alrededor de los 10-12 Ma. Esto implica que la subducción-colisión-transpresión, así como el mecanismo de STEP en su extremo más oriental, fue migrando de oeste en este como una ola que rompe a lo largo de una playa y está hoy día en funcionamiento en Venezuela oriental y Trinidad (Audemard, 2009, 2011). En consecuencia,

igualmente, la ZBP se ha hecho más transcurrente y menos compresiva con el tiempo, aunque se mantiene compresiva (Audemard et al., 2005, 2006; Audemard y Castilla, 2016); a pesar de mostrar transtensión localizada, como en la fosa de Cariaco y en la plataforma de Carúpano (Audemard et al., 2005) o entre las penínsulas de Araya y Paria (Reinoza et al., 2020).

Dada la configuración geográfica y fisiográfica venezolana, de la cual deriva que estemos abiertos al mar sobre una extensión de costas cercana a los 3000 km, aunado al contexto geodinámico o tectónico, donde todo el occidente y la frontera norte de nuestro territorio estén surcado por un límite de placas tectónicas activo, parcialmente en tierra y significativamente en mar (Figura 2), el estudio de las fallas pertenecientes a la frontera de placas Caribe-Suramérica (CA-SA), con clara y ya demostrada capacidad generadora de sismos destructores (e.g., Centeno-Graü 1969, Grases 1990, Grases et al. 1999, Audemard 1999, 2002, 2007, 2011, 2014b), es de vital importancia en la estimación de la amenaza sísmica (EAS) a fines de la reducción del riesgo sísmico. La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas –FUNVISIS-, como institución rectora de la sismología nacional y por ende de su caracterización, ha necesariamente incorporado las fallas con trazas submarinas, tal como la falla de San Sebastián a lo largo de la costa centro-norte del país, en la EAS de las zonas costeras y áreas adyacentes, desde sus primeros estudios desde el año 1979. Y ha puesto particular empeño en estudiar aquellos que han generado olas tsunamis asociadas (e.g., Audemard, 1999; 2007; González et al., 2004; Audemard et al., 2014; Oropeza y Audemard, 2016; Audemard y Leal, 2017).

Los sismos del estado La Guaira del 24 de junio de 2026: una ruptura multifocal

Los recientes sismos ocurridos en el transcurso del mes de junio de 2026, a similitud con el sismo de marzo de 1812, acontecen durante la celebración de una fiesta patria o de un día religioso católico. Los de junio del 2026 ocurren en día de la celebración nacional de la Independencia de Venezuela, la cual se celebra los 24 de junio, día en que se alcanza la victoria independentista de la Batalla de Carabobo. Por su parte, el sismo destructor del 26 de marzo de 1812 se entremezcla con la celebración católica del Jueves Santo, con la crucifixión de Jesucristo y la homilía de ese día sacro. Sin embargo, hasta aquí no llegan las coincidencias entre ambos sismos.

Los sismos del estado La Guaira de 2026 -así nombrado aquí por ahí concentrarse la gran mayoría de los daños destructores de estos 2 eventos de magnitud Mw 7,0+- sustancialmente repiten dónde 214 años antes habían ocurrido los catastróficos sismos de 1812 (Figura 5). A pesar de haber producido extrañeza en la comunidad mundial, tanto científica como pagana, por ser dos sismos próximos espacialmente y sólo separados de 39-40 segundos en tiempo (e.g., USGS, 2026; GFZ, 2026), los eventos de 2026 casi replican a la perfección la secuencia de 1812.

Para mejor entender a los sismos de 2026, debemos retrogradarnos a DC 1812. Según estudios previos de sismología histórica, los cuales persiguen reducir los niveles de incertidumbre en la relación causal de los grandes sismos históricos del occidente venezolano, el sismo de 1812, a partir de la distribución de daños reportados por Rodríguez y Audemard (1997) y Altez (2005a) para este evento, debería más bien asociarse al segmento San Felipe (Boc-e) de la falla de Boconó en tierra y a la porción más occidental de la falla de San Sebastián en mar, así confirmando la propuesta de Audemard (2002), quien aplicando el concepto de silencio sísmico (*seismic gap*), proponía la ubicación y extensión lateral de las rupturas asociadas a los sismos de 1812: a lo largo del valle del Yaracuy, entre Barquisimeto y San Felipe, y a lo largo de la costa norcentral venezolana en su sector occidental. Cabe señalar que con el establecimiento de una tasa de desplazamiento más precisa (8-12 mm/a) en tiempos más recientes, por medio de la datación de radionucleidos cosmogénicos (TCN por sus siglas en inglés; *Terrestrial Cosmo-nuclides*, como el ^{10}Be) de geoformas aluviales en el valle del Yaracuy, Pousse-Beltrán et al. (2017) plantearon que, transcurridos ya más de 200 años del sismo predecesor de 1812, la acumulación entre 1 a 4 m de deformación elástica desde entonces, era suficiente para generar un sismo del orden de Mw 7,5.

En vista de las similitudes entre ambas secuencias de 1812 y 2026, es necesario ahondar al respecto del sismo del 26 de marzo de 1812, ya que diversos autores (Centeno Graü, 1969; Fiedler, 1961; 1972; Rodríguez y Audemard, 1997; Audemard, 2002; Altez, 2005a y b) lo han considerado como un sismo multifoco. Centeno Graü (1969) considera que tuvo tres focos: uno en el mar Caribe, entre los Roques y la costa de La Guaira; otro frente a San Felipe, Barquisimeto y El Tocuyo; y un tercero, al sur del lago de Maracaibo. Fiedler (1961; 1972) también apoya la hipótesis de que tuvo tres focos: uno al norte de la costa de la Guaira, un segundo foco en la Falla de Boconó, entre San Felipe y Barquisimeto, y un tercero al suroeste de Mérida. Altez (2005a; 2005b; 2006) sostiene que en realidad tuvo dos focos, ya que considera que el movimiento sísmico que afectó a Mérida ocurrió aproximadamente una hora después de los de Caracas y San Felipe. En tal sentido, Rodríguez y Audemard (1997), posteriormente publicado por Altez (1998), plantea la idea de la existencia de dos sismos diferentes, en la misma tarde y a diferentes horas, para las regiones de Caracas-Barquisimeto y Mérida, respectivamente. En el trabajo de FUNVISIS (Rodríguez y Audemard, 1997), se presentan dos mapas de isosistas que separan los efectos de los dos sismos. Esta nueva hipótesis se sostiene en la evidencia documental que demuestra que Caracas fue afectada por un terremoto a las 16:07, mientras que en Mérida la afectación ocurrió alrededor de las 17:00 horas (ambas horas locales; no existiendo homologación horaria en Venezuela hasta 1912) del mismo 26 de marzo. Esta es la hipótesis actualmente más compartida, aceptándose que en realidad son dos eventos independientes, sólo separados por menos de una hora, los que afectan, por una parte, a la región central y centro-occidental del país y, por otra parte, casi exclusivamente a la ciudad de Mérida; siendo este segundo un evento de magnitud moderada por lo pequeño de su área sentida, pero con muchos efectos de sitio y de amplificación por el espesor de la terraza de Mérida. Por el contrario, el evento que afectó Barquisimeto, San Felipe

y Caracas principalmente es un evento mayor que probablemente resulta de una ruptura compuesta, con por lo menos dos focos (uno en el mar en el centro-norte del país y otro en tierra en el valle del Yaracuy). Esta geometría se asemeja enormemente a la del "doblete sísmico" del 24 de junio; concepto que no compartimos por lo vago de su definición. En tal sentido, debemos resaltar la vaguedad que la definición de este término en la literatura sismológica actual exhala, entre su acepción inicial por Kagan y Shagan (1999), que se refiere a dos sismos muy similares de magnitud Mw 7,5+, y la de Grimm (2022), entre las más recientes, sin mencionar el sin número de otras acepciones tan divergentes, contrastadas y diferentes entre las dos ya señaladas. La definición de doblete sísmico según este último autor, la cual acota muy bien, corresponde a un par de eventos que cumplen las siguientes condiciones: a) una diferencia de magnitud de no más de 0,4 unidades, b) ocurridos en un lapso de 365 días (ventana temporal típicamente modelada para un modelo de pérdidas para (re-)aseguro) y c) contenidos en un radio de 2,5 veces la longitud de ruptura del primer evento. Para Grimm (2022), el término "doblete sísmico" es perfectamente sinónimo de "secuencia de multi-eventos principales". Los sismos del estado La Guaira de 2026 satisfacen todas las condiciones impuestas por Grimm (2022), aunque pareciera que el doblete al que se refiere este último autor es al par de eventos compuesto por el sismo principal acompañado de su réplica (o premonitor?) mayor. En este caso, para no caer en lo impreciso del término "doblete sísmico", nos casamos con el término "sismo multifocal" o "secuencia multi-eventual", con una nucleación en el sismo Mw 7,2 que inicia la ruptura y su propagación hacia el este, hasta encontrar una región sobre el mismo plano de falla una región muy cargada de energía elástica próxima a la ruptura, que entonces libera el grueso del momento sísmico (centroide de momento sísmico) del sismo de Mw 7,5 (Figura 6).

Falla causativa de la secuencia multi-eventual

Partiendo de nuestras propias observaciones de campo, luego de haber estado recorriendo el centro-occidente (estados Yaracuy, Carabobo y Falcón) durante 9 días consecutivos, podemos contundentemente afirmar que la propuesta de dos focos sísmicos en el estado Yaracuy (USGS, 2026) no se sostiene con el bajo nivel de daños reportado en esta región del país. Sin embargo, un primer evento de Mw 7,2, con foco a unas pocas decenas de kilómetros al este de la ciudad de San Felipe y con profundidad entre 20 y 27 km, si podría justificar las relativamente bajas intensidades sísmicas reportadas por el USGS (2026), validadas por las primeras evaluaciones realizadas por FUNVISIS en los días sucesivos al sismo (28 de junio al 6 de julio). Tal profundidad también justificaría lo discreto de la expresión superficial de la ruptura cosísmica del segmento Boc-e de la falla de Boconó; de orientación WSW-ENE a este-oeste y cinemática dextral (USGS, 2026). No obstante, su posición y extensión en el campo validan la experticia desarrollada por FUNVISIS en la cartografía neotectónica de sus rasgos tectónicamente activos en el territorio nacional por ya 45 años; constatación ya previamente hecha por el autor durante el sismo de Cariaco del 9 de julio de 1997. El segundo evento, por su parte, necesariamente debe ubicarse ampliamente al este del primero, en proximidad y al oeste de Maiquetía-La Guaira, en mar, tal como lo propone el GFZ (2026; Figura 7).

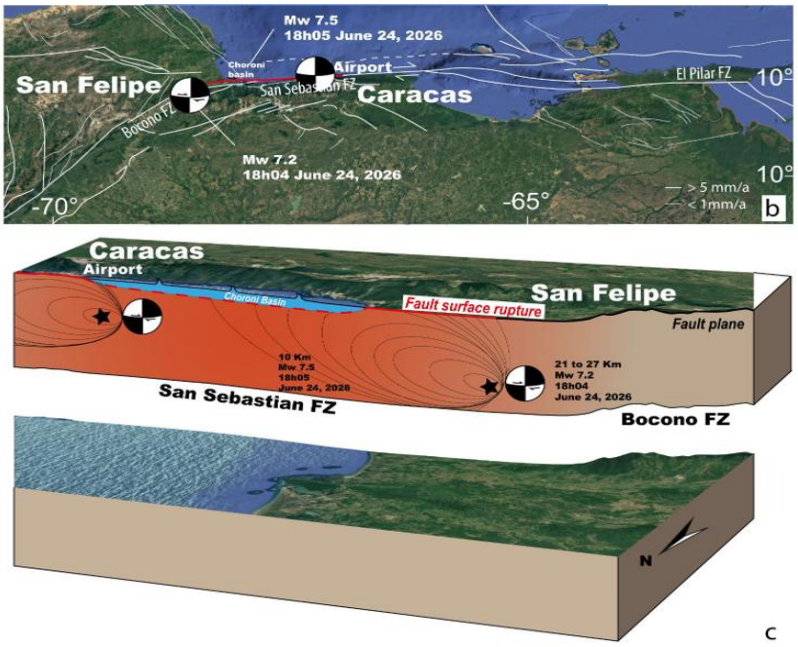


Figura 6. *Figura esquemática que plasma la relación entre el sismo iniciador de Mw 7,2 sobre la falla de Boconó (Boc-e de Audemard, 2014), que luego de propagar hacia el este, dispara el de mayor relajación de momento sísmico de Mw 7,5 en proximidad a Maiquetía-La Guaira.*

Consideramos que ese segundo foco debe ubicarse a unos 120-140 km al este del primero (Figura 6), contemplando que la propagación de la ruptura en el medio rocoso viaja en promedio a unos 3,0-3,1 km/s, y la separación es de 39-40 s entre ambos focos. Ello necesariamente separaría ambos focos en una distancia de al menos 120 km, cuya longitud de ruptura de tal dimensión justificaría un sismo de Mw 7,2 en Boc-e más septentrional, según las relaciones empíricas de Wells y Coppersmith (1994) y Leonard (2010). Los prominentes daños mayores en la región centro-norte se justificarían más fácilmente con un foco más somero (unos 10 km), como el propuesto por la mayoría de las agencias sismológicas internacionales (e.g., GFZ, 2026; USGS, 2026), aunado a otros efectos (resonancia sísmica, amplificación de ondas, directividad de la energía elástica liberada hacia el este) y procesos o factores geológicos naturales constituyentes de la exposición (por sitio seleccionado para establecerse; potencia sedimentaria de los depósitos, suelos blandos o no consolidados, licuación de suelo y relajación lateral o *Lateral spread*; hasta ruptura cosísmica); sin la necesidad de tener que invocar a aspectos de vulnerabilidad física o constructiva, tales como: diseño ingenieril, y parámetros estructurales, constructivos, normativos y de simple práctica profesional, que seguramente han contribuido a magnificar las intensidades sísmicas registradas. Este segundo evento tiene ruptura cosísmica asociada. Corresponde a la falla de Bruscas, conocida en la literatura geológica de los años 50 y de los ingenieros que construyeron el Aeropuerto Internacional de Maiquetía Simón Bolívar (Figura 8). De igual manera, la falla de Bruscas es de fácil identificación en campo, por ser fácilmente reconocible en los depósitos sedimentarios Plio-cuaternarios del Grupo Cabo Blanco, al oeste del sector Mare y en el extremo oriental del cerro Machado, al este del Aeropuerto Internacional de Maiquetía (Figura 9). Aquí, yuxtapone rocas sedimentarias del Plio-Cuaternario muy distintas en litología (detríticos finos contra gruesos), color (blancuzco contra ocre rojizo) y origen (marino contra continental).

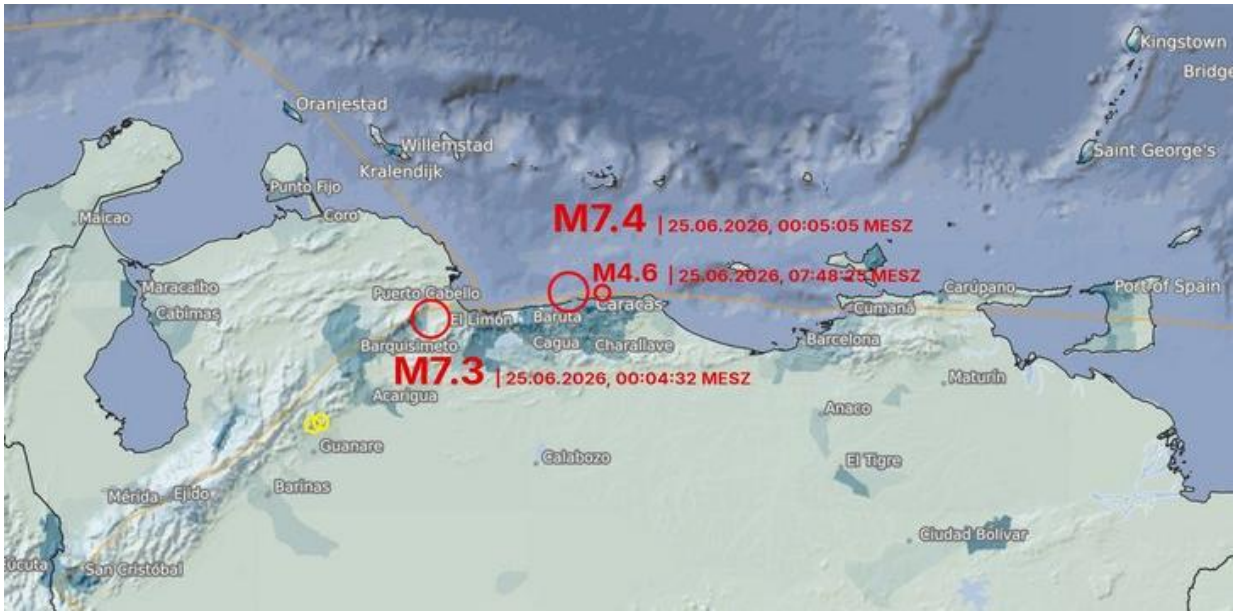


Figura 7. *Ubicación epicentral del doblete sísmico (definición acorde a Grimm, 2022) provista por el instituto GFZ-Potsdam (Germany) (tomado de https://www.gfz.de/en/press/news/details/ severe-earthquake-in-venezuela-gfz-information-status-report , el día 25 de junio de 2026).*

Evento tsunamigénico

Por último, esta ruptura multifocal, con nucleación en Yaracuy con el Mw 7,2 y centroide de momento sísmico en el mar al norte del estado La Guaira con el Mw 7,5, generó olas tsunamis, cuyas alturas de cresta a seno de ola están entre 0,5 y 1,0 m en Gañango (Puerto Cabello-Patanemo) y 0,70-1,25 m en la bahía de Choroní; esta última fue estimada a partir de videos aficionados grabados por turistas o locales (Figura 10). Cabe señalar que la ocurrencia de roturas diversas de cables submarinos de fibra óptica de telefonía celular e internet, reportadas por la compañía nacional de telefonía CONATEL en los días subsiguientes al sismo, abren la posibilidad que estas olas tsunamis no hayan sido sólo producidas por el desplazamiento cosísmico introducido por la transcurrencia dextral de la falla San Sebastián costa afuera de Venezuela norcentral, sino que gigantescos deslizamientos submarinos disparados por los sismos hayan comprometido los tendidos submarinos que nos conectan a la red mundial. De igual manera, no se puede excluir que la falla San Sebastián tenga

una traza submarina al norte del Cerro Machado, costa afuera, la que combinada con la falla de Bruscas en tierra, levanten las unidades plio-pleistocenas del Grupo Cabo Blanco, de clarísima afinidad marina, en un pop-up o push-up (lomo de presión o pilar tectónico; estructura transpresiva en relevo de fallas o en doble curvatura transpresiva). El cerro Machado así sería un excelente análogo a los cerros Caigüire de la ciudad de Cumaná en relación a la falla El Pilar, tanto en su equivalencia sedimentaria, ambiental y cronoestratigráfica, como en su estructuración en gigantesco lomo de presión (o flor positiva). Estudios geofísicos marinos en el corto plazo tendrán que dar respuesta a estas interrogantes abiertas.

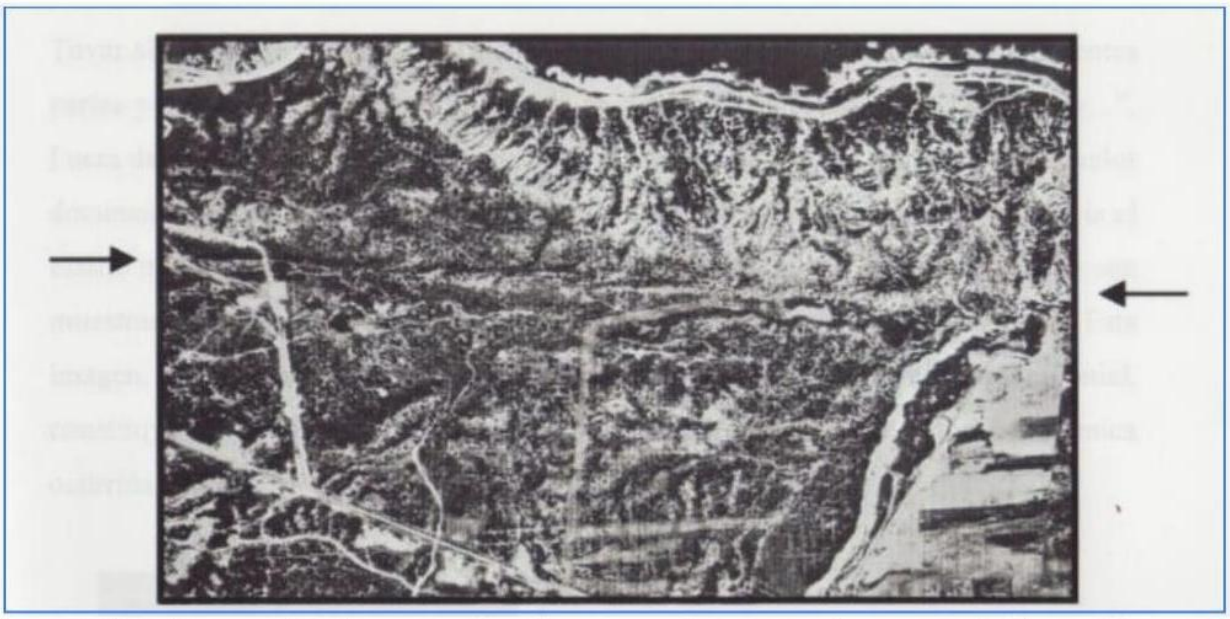


Figura 8. *Rasgos morfotectónicos del escarpe cosísmico, en foto aérea de la misión C8 de 1951, destacado por una franja blanca a lo largo de la traza activa de la falla de Bruscas (parte del Sistema de fallas de San Sebastían), en el flanco sur del cerro Machado, previo a los terraceos del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar de Maiquetía (fotografía de autor desconocido).*



Figura 9. *Falla de Bruscas en el cerro Machado, al norte del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar de Maiquetía. La misma se reconoce por yuxtaponer rocas sedimentarias muy distintas en litología (detríticos finos contra gruesos), color (blancuzco contra ocre rojizo) y origen (marino contra continental). Izq: Vista satelital de la extremidad este de la falla de Bruscas, resaltada por líneas rojas, en proximidad de estación metereológica del aeropuerto. Der: Vista de tierra, en los acantilados detrás del sector Mare.*



Figura 10. *Imágenes sacadas de un video aficionado que muestra, primero, el retiro del mar, y luego, el regreso del mismo una veintena de segundos después, asociado a los sismos del 24/06/2026 (publicado por https://www.instagram.com/reels/DailEU9O0KT/).*

Referencias

Altez, R. (1998). Cronometrización extemporánea: los sismos del 26 de marzo de 1812 en Caracas y Mérida, Revista Geográfica Venezolana, 39 (1-2): 297-325.

Altez, R. (2005a). Los sismos del 26 de marzo de 1812 en Venezuela: Nuevos aportes y evidencias sobre estos eventos. Boletín Técnico IMME, 43 (2): 11-34.

Altez, R. (2005b). Todo lo que se movió en 1812 en la placa del Caribe: sismos, volcanes y transmisión de energía. Revista Geográfica Venezolana, Número Especial 2005: 143-170.

Altez, R. (2006). El Desastre de 1812 en Venezuela: Sismos, Vulnerabilidades y Una Patria No Tan Boba. Universidad Católica Andrés Bello y Fundación Polar, Caracas, Venezuela, 522 p.

Audemard, F. A. (1993). Néotectonique, Sismotectonique et Aléa Sismique du Nord-ouest du Vénézuela (Système de failles d'Oca-Ancón). PhD thesis, Université Montpellier II, France, 369 p.

Audemard, F. A. (1997). Tectónica activa de la región septentrional de la cuenca invertida de Falcón, Venezuela occidental. VIII Cong. Geol. Venezolano, Porlamar*;* 1:93-100.

Audemard, F. A. (1998). Evolution Géodynamique de la Façade Nord Sud-Américaine: Nouveaux apports de l'Histoire Géologique du Bassin de Falcón, Vénézuéla. XIV Caribbean Geological Conference, Trinidad.

Audemard, F. A. (1999). Nueva percepción de la sismicidad histórica del segmento en tierra de la falla de El Pilar, Venezuela nororiental, a partir de primeros resultados paleosísmicos. VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Mérida, Venezuela.

Audemard, F. A. (2000). Major Active Faults of Venezuela. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil (Conferencia invitada; Resumen extendido en formato CD-Rom).

Audemard, F. A. (2002). Ruptura de los grandes sismos históricos venezolanos de los siglos XIX y XX, revelados por la sismicidad instrumental contemporánea. 9º Congreso Venezolano de Geofísica, noviembre 17-20, Caracas.

Audemard, F. A. (2007). Revised seismic history of El Pilar Fault, Northeastern Venezuela, after the Cariaco 1997 Earthquake and from recent preliminary paleoseismic results. Journal of Seismology, 11(3): 311-326.

Audemard, F. A. (2009). Key issues on the post-Mesozoic southern Caribbean plate boundary. *Geological Society, London, Special Publications, 328*, 567-584. https://doi.org/10.1144/SP328.23

Audemard, F. A. (2011). Multiple-trench investigations across the newly ruptured segment of the El Pilar fault in northeastern Venezuela after the 1997 Cairo earthquake. In: F.A. Audemard, A.M. Michetti, J. McCalpin (eds.). Geological criteria for evaluating seismicity revisited: 40 years of paleoseismic investigations and the natural record of past earthquakes (pp. 133-157). GSA. https://doi.org/10.1130/2011.2479(06)

Audemard, F. A. (2014a). Active block tectonics in and around the Caribbean: A Review. In: M. Schmitz, F.A. Audemard, F. Urbani

(eds.). El Límite Noreste de la Placa Suramericana - Estructuras Litosféricas de la Superficie al Manto (The Northeastern Limit of the South American Plate - Lithospheric Structures from Surface to the Mantle). Universidad Central de Venezuela/FUNVISIS. 378 p (capítulo de libro)

Audemard, F. A. (2014b). Segmentación sismogenética de la falla de Boconó a partir de investigaciones paleosísmicas por trincheras, Venezuela occidental: ¿Migración de la ruptura hacia el noreste en tiempos históricos? Revista Asociación Geológica Argentina, 71(2): 247-259.

Audemard, F. A.; Castilla, R. (2016). Present-day stress tensors along the southern Caribbean plate boundary zone from inversion of focal mechanism solutions: A successful trial. Journal of South American Earth Sciences, 71, 309-319. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.06.005

Audemard, F. A.; Leal, A. (2017). Reliability of first-hand accounts on the study of historical tsunamis in northeastern Venezuela (southeastern Caribbean Sea). Annals of Geophysics. 60 (6). https://doi.org/10.4401/ag-7437

Audemard, F. A.; Singer, A. (1997). La ingeniería de fallas activas en Venezuela: historia y estado del arte. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica: Aniversario del Terremoto de Caracas de 1967. Universidad Católica Andrés Bello, Julio 21-22, Caracas.

Audemard, F. A.; Glimsdal, S.; Leal, A. (2014). Local historical tsunamis along Northeastern Venezuela, Southern Caribbean: tectonic and/or mass wasting induction? First modeling results of strike-slip generation. International Workshop «Mega Earthquakes and Tsunamis in Subduction Zones–Forecasting Approaches and Implications for Hazard Assessment», Rhodes Isl., Greece, 6-8 October, 2014.

Audemard, F. A.; Mora-Páez, H.; Fonseca P., H. A. (2021). Net right-lateral slip of the Eastern Frontal Fault System, North Andes Sliver, northwestern South America. Journal of South American Earth Sciences, 109, 103286.

Audemard, F. A.; Romero, G.; Rendón, H.; Cano, V. (2005). Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions. Earth-Science Reviews, 69(3-4), 181-233. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.08.001

Audemard, F. A.; Singer, A.; Soulas, J.P.; the FUNVISIS' Neotectonics Section (2006). Quaternary faults and stress regime of Venezuela. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61(4), 492-503

Audemard, F. A.; Machette, M. N.; Cox, J. W.; Dart, R. L.; Haller, K. M. (2000). Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-0018, 1-64 + map.

Audemard, F. E. (1991). Tectonics of Western Venezuela. PhD thesis, Rice University, Houston.

Audemard, F. E.; Audemard, F. A. (2002). Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. Tectonophysics, 345(1-4), 1-26.

Ávila-García, J.; Schmitz, M.; Mortera-Gutiérrez, C.; Bandy, W.; Yegres, L.; Zelt, C.; Aray-Castellano, J. (2022). Crustal structure and tectonic implications of the southernmost Merida Andes, Venezuela, from wide-angle seismic data analysis *Journal of South American Earth Sciences*, *116*, 103853. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103853

Bell, J. (1972). Geotectonic evolution of the southern Caribbean area. Geological Society of America Memoir 132, 369-386.

Beltrán, C. (1994). Trazas activas y síntesis neotectónica de Venezuela a escala 1:2.000.000. VII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 541-547.

Centeno-Graü, M. (1969). Estudios Sismológicos. Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, segunda edición. Caracas, Venezuela, 365 p.

Chacín, L.; Jácome, M.; Izarra, C. (2005). Flexural and gravity modelling of the Mérida Andes and Barinas-Apure Basin, Western Venezuela. *Tectonophysics*, *405*(1-4), 155-167. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.06.004

Fiedler, G. (1961). Áreas afectadas por terremotos en Venezuela. Memoria del III Congreso Geológico Venezolano, 3: 1791-1810. Editorial Sucre, Caracas-Venezuela.

Fiedler, G. (1972). La liberación de energía sísmica en Venezuela, volúmenes sísmicos y mapas de Isosistas. Memoria IV Congreso Geológico Venezolano, 2441-2462*,* Caracas-Venezuela.

Freymueller, J.T., Kellogg, J.N.,Freymueller, J. T., Kellogg, J. N. and Vega, V., 1993. Plate motions in the north Andean region. Journal of Geophysical Research 98, 21,853-21,863.

GFZ (2026). https://www.gfz.de/en/press/news/details/severe-earthquake-in-venezuela-gfz-information-status-report (revisada por última vez en en fecha 09 de julio de 2026).

Govers, R.; Wortel, M. J. R. (2005). Lithosphere tearing at STEP faults: response to edges of subduction zones. Earth and Planetary Sciences Letters, *236*(1-2), 505-523. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.03.022

Grases, J. (1990). Terremotos destructores del Caribe 1502-1990. 1era edición. Oficial regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco-Relacis. 132 p.

Grases J.; Altez R.; Lugo M. (1999). Catálogo de sismos sentidos o destructores de Venezuela 1530-1998. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Edición. Innovación Tecnológica. Vol. XXXVII. 654 p.

Grimm, C. (2022). How Frequent Are Earthquake Doublets Worldwide? Advancing the Epidemic Type Aftershock Sequence Model to Improve Forecasts of Multi-Mainshock Sequences. PhD Fakultat fur Mathematik, Informatik und Statistik of }the Ludwig-Maximilians-Universitat of Munich, 177 p.

Hess, H.; Maxwell, J. (1953). Caribbean Research Project. Bulletin Geological Society of America, 64, 1-6.

Jácome, M.I.; Kusznir, N.; Audemard, F. E.; Flint, S. (2003). Formation of the Maturin Foreland Basin, eastern Venezuela: Thrust sheet loading or subduction dynamic topography. *Tectonics*, *22*(5). https://doi.org/10.1029/2002TC001381

Jordan, T. (1975). The present-day motions of the Caribbean plate. Journal of Geophysical Research 80, 4433-4439.

Kagan, Y. Y.; Jackson, D. D. (1999). Worldwide doublets of large shallow earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 89(5), 1147–1155.

Kellogg, J.; Vega, V. (1995). Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: Constraints from Global Positioning System geodetic studies and gravity. Special Paper Geological Society of America 295, 75-90.

Leonard, M. (2010). Earthquake fault scaling: Self-consistent relating of rupture length, width, average displacement, and moment release. Bulletin of the Seismological Society of America, 100(5A), 1971-1988.

Malfait, B.; Dinkelman, M. (1972). Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate. Geological Society of America Bulletin 83(2), 251-272.

Minster, J.; Jordan, T. (1978). Present-day plate motions. Journal of Geophysical Research 83, 5331-5354.

Monod, B.; Dhont, D.; Hervouët, Y. (2010). Orogenic float of the Venezuelan Andes. Tectonophysics, *490*(1-2),123-135. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.04.036

Montheil, L.; Van Hinsbergen, D. J.; Philippon, M.; Boschman, L. M.; Cornée, J. J.; Audemard, F. A.; Wessels, R; Leroy, S.; Roncal, J.; Münch, P. (2025). Caribbean biodiversity shaped by subduction zone processes along the Lesser Antilles arch. Communications Earth & Environment, 6(1), 900.

Mora-Páez, H.; Kellogg, J.; Freymueller, J.; Mencin, D.; Fernandes, R.; Diederix, H.: LaFemina, P. C.; Cardona-Piedrahita, L.; Lizarazo, S.; Peláez-Gaviria, J. R.; Díaz- Mila, F.; Bohórquez-Orozco, O. P.; Giraldo-Londoño, L.: Corchuelo-Cuervo, Y. (2019). Crustal deformation in the northern Andes – Space Geodesy velocity field. J. South American Earth Sciences 89, 76-91. https://doi.org/10.1016/j.jsames. 2018.11.002.

Oropeza, J.; Audemard, F. A. (2016). Contribución al estudio de tsunamis y otras amenazas costeras en Venezuela. Revista Nuestro Sur: Historia, Memoria y Patrimonio, 9: 193-215.

Palma, M.; Audemard, F. A.; Romero, G.; (2010). Nuevos mecanismos focales para Venezuela y áreas vecinas 2005-2008: importancia de la densificación y distribución de la red sismológica nacional. Revista Técnica Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, 33(2), 1-14.

Pérez, O.; Bilham, R.; Bendick, R.; Hernández, N.; Hoyer, M.; Velandia, J.; Moncayo, C.; Kozuch, M. (2001a). Velocidad relativa entre las placas del Caribe y Sudamérica a partir de observaciones dentro del sistema de posicionamiento global (GPS) en el norte de Venezuela. Interciencia, *26*(2), 69-74.

Pérez, O.J.; Bilham, R.; Bendick, R.; Velandia, J.R.; Hernández, N.; Moncayo, C.; Hoyer, M.; Kozuch, M. (2001b). Velocity field across the Southern Caribbean Plate Boundary and estimates of Caribbean/South-American Plate Motion using GPS Geodesy 1994-2000. Geophysical Research Letters, 28(15), 2987-2990. https://doi.org/10.1029/2001GL013183

Pindell, J.; Dewey, J. (1982). Permo-Triassic Reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region. Tectonics 1(2), 179-211.

Porras, L. (2000). Evolución tectónica y estilos estructurales de la región costa afuera de las cuencas de Falcón y Bonaire. *VII Congreso Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas*, Caracas, Venezuela.

Pousse-Beltrán, L. ; Vassallo, R. ; Audemard, F. A. ; Jouanne, F.; Carcaillet, J. ; Pathier, E. ; Doin, M-P. ; Volat, M. (2017). Pleistocene slip rates along the North Andean Block plate boundary (Boconó fault, Venezuela). Tectonics 36(7): 1207-1231. https://doi.org/10.1002/2016TC004305

Reinoza, C.E.; Audemard, F.A. ; Jouanne, F.; Pousse-Beltrán, L.; Beck, C. (2020). Strain calculations of active tectonic blocks in Northeastern Venezuela from GNSS analysis. Journal of South American Earth Sciences, 102, 102661. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102661

Rod, E. (1956). Strike-slip faults of northern Venezuela. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 40, 457-476.

Rodríguez, J. A.; Audemard, F. A. (coords.) (1997). Estudio neotectónico y geología de fallas activas en el piedemonte surandino de los Andes Venezolanos (Proyecto INTEVEP 95-061). Informe Inédito para INTEVEP, S.A., 155p + 9 anexos.

Rondón, F. (2016). Modelo gravimétrico cortical 2D del perfil sur proyecto GIAME, ubicado en la región andina de Venezuela. Trabajo de Grado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.

Schubert, C. (1979). El Pilar fault zone, northeastern Venezuela: brief review. Tectonophysics, 52(1-4), 447-455. https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90259-2

Singer, A.; Audemard, F. A. (1997). Aportes de Funvisis al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sísmico, In Grases, J. (ed.): Diseño sismorresistente. Especificaciones y criterios empleados en Venezuela. Publicación Especial Academia de las Ciencias Naturales, Matemáticas y Físicas 33, 25-38.

Soulas, J-P. (1986). Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas-1985, 10, 6639-6656.

Stephan, J.-F. (1982). Evolution géodinamique du domaine Caraïbe, Andes et chaîne Caraïbe sur la transversale de Barquisimeto (Vénézuéla). PhD thesis, Paris, 512 p.

Stéphan, J.-F. (1985). Andes et Chaîne Caraïbe sur la transversale de Barquisimeto (Vénézuela). Evolution géodynamique. *Symposium Géodynamique des Caraïbes*, Paris, Francia.

Sykes, L.; McCann, W.; Kafka, A. (1982). Motion of Caribbean Plate during last 7 million years and implications for earlier cenozoic movements. Journal of Geophysical Research 87(B13), 10,656-10,676

USGS (2026). https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/ (revisada por última vez en en fecha 09 de julio de 2026).

Wadge, G.; Burke, K. (1983). Neogene Caribbean plate rotation and associated central American tectonic evolution. Tectonics 2(6), 633-643.

Wells, D. L.; Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bulletin of the seismological Society of America, 84(4), 974-1002.

Ysaccis, R. (1997). Tertiary evolution of the northeastern Venezuela offshore. PhD thesis, Rice University, Houston.

Ysaccis, R.; Cabrera, E.; Castillo, H. (2000). El sistema petrolífero de la cuenca de la Blanquilla, costa a fuera Venezuela. VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Las Cuencas Subandinas, Caracas 411-425.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 93 – 113
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/170

MAPA DE MÁXIMAS INTENSIDADES SÍSMICAS ESTIMADAS PARA VENEZUELA EN EL PERÍODO 1530-2026

Alejandro LIÑAYO[1], Gustavo A. PÁEZ S.[2], Mariavirginia UZCÁTEGUI[3]

RESUMEN

Desde 1530 -año en el que se registraron las primeras descripciones de un terremoto destructivo dentro del territorio nacional- hasta el presente (2026), Venezuela ha acumulado un interesante historial de importantes terremotos que han ocasionado daños significativos en la mayoría de sus principales centros poblados. La mayoría de los grandes terremotos históricos venezolanos han sido rigurosamente estudiados por destacados investigadores, y que, entre otras acciones, se esmeraron en recopilar datos de múltiples fuentes históricas y -para los casos más recientes- de registros instrumentales que les permitieron generar mapas de isosistas y estimar aquellas zonas en donde cada terremoto en particular mostró niveles similares de intensidad en sus efectos percibidos. En este artículo se recogen los resultados de un estudio desarrollado con el objetivo de recopilar los mapas de isosistas elaborados para los terremotos más importantes de la historia sísmica del país, a los cuales se les aplicó un geoprocesamiento, con el fin de generar un mapa nacional de máximas intensidades sísmicas estimadas para cada región de Venezuela en el periodo de 1530-2026. Se resumen en este documento los esfuerzos desarrollados en el país con el fin de preservar la memoria de su sismicidad histórica, los criterios empleados para la selección de los terremotos más importantes utilizados a los fines de este estudio y el geoprocesamiento que se hizo de los mapas de isosistas definidos para dichos terremotos. Como resultado de este esfuerzo se presenta una primera versión de un mapa consolidado de máximas intensidades sísmicas estimadas para el territorio de Venezuela y que zonifica al país en ocho sectores (cuyas máximas intensidades reportadas fluctúan entre III y X grados MMI), un producto que, aparte de servir para complementar el acervo de los estudios sismológicos del país, destaca por el uso que pudiera tener a efectos de sensibilizar a la población en general sobre el tipo de sacudidas sísmicas que se han llegado a registrar en sus entornos inmediatos.

ABSTRACT

Map of estimated maximum seismic intensities for Venezuela in the 1530-2026 period

From 1530—the year the first descriptions of a destructive earthquake within the national territory were recorded—to the present (2026), Venezuela has accumulated a remarkable history of significant earthquakes that have caused severe damage across most of its major urban centers. The majority of major historical Venezuelan earthquakes have been rigorously studied by prominent researchers who, among other efforts, focused on compiling data from multiple historical sources and—for more recent events—instrumental records. This enabled the generation of isoseismal maps, which facilitate the estimation of zones where each particular earthquake exhibited comparable levels of intensity in its perceived effects. This paper presents the results of a study aimed at compiling the isoseismal maps produced for the most significant earthquakes in the country's seismic history and performing their geoprocessing to generate a national map of estimated maximum seismic intensities for each region of Venezuela spanning the 1530–2026 period. This document summarizes the efforts undertaken nationwide to preserve the record of historical seismicity, the criteria applied for selecting the most prominent earthquakes utilized in this study, and the geoprocessing methodologies applied to the isoseismal maps defined for these events. As a result of this endeavor, a preliminary version of a consolidated map of estimated maximum seismic intensities for the Venezuelan territory is presented, dividing the country into eight sectors (with reported maximum intensities ranging from III to X on the Modified Mercalli scale). Beyond complementing the body of seismological studies in the country, this product stands out for its potential utility in raising public awareness regarding the types of seismic shaking recorded in their immediate environments.

Palabras clave: Intensidades sísmicas máximas, isosistas, sismicidad histórica, SIG, Venezuela.
Keywords: Maximum seismic intensities, isoseismal lines, historical seismicity, GIS, Venezuela.

[1] Ingeniero, MSc. PhD. Director del Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR) - Fundador del Observatorio Venezolano del Riesgo de Desastres (OVRD). Correo: alejandrolinayo@gmail.com
[2] Geógrafo, MSc. Profesor (ULA). Coordinador Observatorio Venezolano del Riesgo de Desastres (OVRD) e investigador del Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR). Correo: gustavogeog61@gmail.com
[3] Geógrafa, Profesora (ULA). Investigadora del Observatorio Venezolano del Riesgo de Desastres (OVRD) y del Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR). Correo: mariviruzcategui@gmail.com

1. Introducción

Venezuela posee un historial sísmico muy interesante y caracterizado por la existencia de terremotos destructivos que, a partir del siglo XVI, han impactado de manera recurrente a sus principales centros poblados e infraestructuras estratégicas. Esta historia parte de las descripciones que se hacen en crónicas coloniales españolas sobre los efectos que generó el terremoto del 1ro septiembre de 1530, y se extienden durante casi medio milenio hasta llegar al presente (2026). Un recorrido que deja claro el significativo acervo de sismicidad histórica del país y la activa geodinámica que caracteriza al territorio que ocupamos y con la cual estamos obligados a aprender a convivir.

Desde principios del siglo XX la comunidad científica venezolana ha hecho esfuerzos destacados con el fin de recopilar, reconstruir y analizar con rigurosidad la historia sísmica del país[4], y muy especialmente con el propósito de caracterizar los grandes terremotos que nos han afectado en el pasado. Este esfuerzo ha sido identificado incluso como una línea prioritaria de investigación dentro de diversos núcleos de la comunidad científica nacional y desde los cuales destacados investigadores y especialistas dedicaron buena parte de su vida al esfuerzo de recopilar, documentar y contrastar información sobre las características y los efectos que han dejado las grandes sacudidas sísmicas que se han dado en nuestro territorio.

Uno de los productos más importantes de este meticuloso trabajo está representado en el mapeo de las áreas donde los efectos de cada uno de nuestros grandes terremotos históricos fueron percibidos con niveles similares de intensidad, y que son conocidos por los sismólogos como mapas de isosistas. Contamos en Venezuela con múltiples estudios que representan geográficamente la intensidad con la que se estima que deberían haberse sacudido los territorios cercanos a cada gran terremoto de nuestra historia, sin embargo, no existe –aparte de los valiosos catálogos y publicaciones de terremotos particulares– un trabajo que proponga la integración espacial y el geoprocesamiento unificado de todos estos aportes, y, ante este hecho, se presenta en este trabajo una propuesta metodológica destinada a recopilar y geoprocesar los mapas de isosistas de los terremotos más significativos de la historia sísmica venezolana que permitió generar una representación geográfica, y de escala nacional, que unifica las máximas intensidades sísmicas estimadas para el territorio de Venezuela en el período comprendido entre los años de 1530-2026.

En este documento se detallan los antecedentes y esfuerzos institucionales que se han desarrollado con el fin de preservar la memoria histórica de la sismicidad en el país, los criterios técnicos y científicos empleados para la selección de los terremotos que fueron seleccionados a los efectos de esta investigación, y las características generales del geoprocesamiento aplicado sobre los mapas de isosistas originales que se elaboraron para cada uno de esos seleccionados terremotos por parte de sus autores originales. Un esfuerzo que, como evidenciaremos más adelante, ha permitido generar una primera versión de un mapa consolidado de máximas intensidades sísmicas estimadas para cada punto del territorio venezolano y que divide al país en ocho sectores diferenciados, donde se han estimado intensidades sísmicas máximas que oscilan entre los grados III y X de la escala Mercalli Modificada (MMI). Un producto que pudiera servir de apoyo al acervo de la investigación sismológica del país como a los efectos de promover la socialización sobre la amenaza sísmica con la que deben convivir los habitantes de diversos puntos de nuestra geografía.

Previo a presentar estos resultados, conviene hacer un brevísimo recorrido por los esfuerzos que, particularmente a lo largo del último siglo, se han desarrollado en Venezuela con el propósito de recopilar, documentar, sistematizar y preservar la memoria de nuestra sismicidad histórica. Un proceso que, como veremos, ha transitado desde la recopilación de las primeras descripciones contenidas en crónicas y documentos históricos, que permitió la conformación de catálogos y estudios especializados, hasta permitir durante los últimos años dar pasos hacia el desarrollo de plataformas digitales y de acceso libre que constituyen un valioso acervo al conocimiento sobre los terremotos que han afectado a Venezuela.

2. Breve mirada al estudio de la sismicidad histórica de Venezuela

La sismología histórica en Venezuela ha evolucionado desde la recopilación anecdótica de relatos coloniales hasta convertirse en una disciplina transdisciplinaria fundamental para la gestión de riesgos y la comprensión de la tectónica regional. Esta disciplina permite reconstruir la historia sísmica de una región para definir, por analogía, el régimen de actividad futura y establecer medidas de prevención en zonas urbanas.

A los efectos de describir brevísimamente la forma como ha evolucionado esta disciplina en Venezuela, nos atreveríamos a dividir su evolución en tres grandes etapas o periodos fundamentales:

a. Desde los orígenes hasta el 1er Catálogo del Dr. Melchor Centeno Graü

El conocimiento sísmico en Venezuela, como en el resto del mundo, comenzó a gestarse desde una lógica basada en el pensamiento mágico-religioso y donde los desastres se interpretaban como designios divinos. Este enfoque privó durante la época colonial (siglos XVI al XVIII), donde las fuentes principales que describieron nuestros grandes terremotos fueron cronistas, informes gubernamentales y

[4] Pudieran destacarse por sus aportes en esta disciplina a investigadores como Alejandro Ibarra, Arístides Rojas, Tulio Febres Cordero, Manuel Landaeta Rosales, Santiago Key Ayala, Adolfo Ernst, Wilhelm Sievers, José Félix Soto, Centeno Grau, José Grases, Franco Urbani, Rogelio Altez, Miguel Lugo, Frank Audremant, José Antonio Rodríguez, Raúl Estevez, José Choi, Jaime Lafaille, Carlos Ferrer Oropeza, María Morandi, Martín Rengifo, Christl Palmer, Reina Aranguren, Jorge Rojas, Rommel Contreras y Emilio Berrisbeitia..

registros eclesiásticos[5], y como en el resto de la Hispanoamérica colonial, fueron entonces las iglesias las que se convirtieron en las mejores informantes de los efectos de nuestros terremotos más importantes debido a que eran los únicos edificios de envergadura de nuestras ciudades y que poseían los únicos relojes públicos que permitían precisar la hora de los eventos.

A principios del siglo XIX, se registró la llegada al país de algunos viajeros ilustrados que generaron aportes a la conformación de una mirada científica y académica sobre los fenómenos naturales, que se evidenciaban en el territorio de lo que hoy es Venezuela y que llegaron a referir los efectos de varios terremotos, y entre estos autores destaca sin duda por sus aportes el legado que dejó el naturalista alemán Alejandro de Humboldt. En los documentos en que este reconocido científico describe sus observaciones durante su estadía en Venezuela, se hacen referencias claras a diversos terremotos sobre los que este llegó a documentarse y que afectaron a las ciudades de Cumaná y de Caracas, e incluso se describen los efectos del terremoto registrado en Cumaná el 4 de noviembre de 1799 y del cual Humboldt llegó a ser testigo.

Sin embargo, son pocos los trabajos adicionales que se conservan de ese periodo y ello pudiera ser producto del "silencio sísmico" documental que produjeron los procesos políticos y las guerras que se registraban entonces en lo que eran los inicios de Venezuela, y que ocupaban la mayor atención de los cronistas de aquel momento. No fue pues sino hasta finales del siglo XIX que surgieron los primeros estudios sismológicos venezolanos caracterizados por su rigurosidad académica y que germinaron en el seno de las primeras entidades académicas del país, y, en este sentido, es conveniente destacar los esfuerzos pioneros que se gestaron en diversas instituciones académicas venezolanas con el fin de transitar desde el relato anecdótico hacia un análisis científico riguroso de nuestros eventos telúricos, y en este transitar destaca sin duda el papel fundamental que jugó la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) y su empeño por institucionalizar este tipo de investigaciones y publicar obras que hoy son la base del conocimiento sismológico nacional.

Si bien son diversos los autores que hicieron importantes aportes al estudio de los terremotos entre finales del XIX y principios del XX –autores entre los que destacan Alejandro Ibarra[6] (1862), Arístides Rojas[7], Tulio Febres Cordero, Manuel Landaeta Rosales y Santiago Key Ayala, Adolfo Ernst y Wilhelm Sievers, José Félix Soto[8] (1931)– quizás el referente más destacado de esta etapa temprana del estudio de nuestra sismicidad resulta ser el Dr. Melchor Centeno Graü (1867-1949), ingeniero egresado de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y presidente de la ACFIMAN entre 1945 y 1947 cuya obra "Estudios Sismológicos", publicada por primera vez en 1940, es considerada como pionera y el pilar de la sismología venezolana.

La obra monumental de Melchor Centeno Graü permitió sistematizar 409 años de historia sísmica venezolana (1530-1939) y lo motivó a proponer una "Ley de Coincidencias", que intentaba predecir períodos de peligrosidad sísmica basados en estadísticas históricas de intervalos de 29 a 32 años. Además de estos aportes al Dr. Centeno Grau se deben los primeros intentos de zonificación sísmica de Venezuela y que proponían dividir al país en tres regiones: la Cordillera Andina, la Cordillera de la Costa y la zona de Paria.

Tras el fallecimiento de Centeno Graü en 1949, la ACFIMAN continuó su labor, y, en 1969, bajo la dirección del Dr. Guillermo Zuloaga, se publicó una segunda edición de "Estudios Sismológicos", ampliada y corregida, y que integró la correlación de los efectos observados históricamente con los datos instrumentales de las incipientes redes sismográficas que se comenzaban a operar en nuestro territorio, un esfuerzo pionero y que nutrió las bases sobre las que se comenzó a calcular los escenarios de riesgo sísmico de nuestras zonas urbanas.

b. Desde 1950 hasta el Catálogo de Grases, Altez y Lugo

Este segundo periodo se caracterizó por la transición hacia la sismología instrumental, la ampliación del número de actores académicos comprometidos con el estudio de la sismología histórica y el nacimiento y consolidación de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).

Conviene recordar que, si bien los esfuerzos por obtener registros instrumentales de terremotos en Venezuela inician alrededor del año 1901 con la instalación de un primer sismógrafo alemán de marca Wierchert que el gobierno nacional adquirió[9] para el laboratorio Cajigal, no fue hasta el año de 1959 cuando se consolida en el país un primer registro sistemático de su sismicidad, y esto fue posible en gran medida gracias al aporte de otro ilustre científico venezolano: El Dr. Eduardo Röhl Arriens. Un destacado investigador que fue fundador y miembro de la ACFIMAN y quien ejerció el cargo de Director del Observatorio de Cajigal entre el año de 1937 hasta su muerte (1959). Durante su gestión, el Dr. Röhl se preocupó por modernizar el estudio sismológico del país y para ello llegó a traer a la nación en 1955 al sismólogo alemán Günther Fiedler, quien dio un gran impulso a la existencia de

[5] Algunos hitos tempranos de estas descripciones recogen el terremoto de Cumaná en 1530 (primero registrado en la historia sísmica del país), el terremoto de La Grita en 1610 que fuese muy bien documentado por Fray Pedro Simón, y los eventos de 1674 en los Andes y Trujillo.

[6] Considerado por muchos como el iniciador de este camino con su estudio "Temblores y terremotos" y publicado en diez entregas consecutivas en el periódico El Independiente

[7] Quien publicó en la revista Vargasia aportes que proponían la relación que debía existir entre la sismicidad y la geología.

[8] Quien presentó ante la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales un catálogo en que se proponía una explicación a las causas tectónicas de los sismos en Caracas.

[9] La decisión política de avanzar en esta adquisición estuvo sin duda motivada por los importantes efectos que un año antes dejó en Caracas el terremoto que sacudió el centro norte del país en el año 1900.

registros y boletines sismológicos en Venezuela e impulsó posteriormente la red de estaciones sismológicas del país.

En lo referente al estudio de la sismología histórica nacional, destaca también el esfuerzo que en este periodo desarrolló el académico Dr. Guillermo Zuloaga, con el propósito de rescatar y ampliar la obra que había escrito el Dr. Melchor Centeno Graü en una segunda edición ampliada del catálogo de terremotos de Venezuela que fue publicada en 1969. Durante estas décadas, el acceso a datos provenientes del uso de sismógrafos y redes internacionales (como el ISC y el Observatorio Cagigal) permitió correlacionar los efectos observados de terremotos con datos instrumentales.

A mitad de este período se registra un nuevo hito en la historia de la sismología contemporánea de Venezuela: El terremoto de Caracas del 27 de julio de 1967. Este terremoto impulsó la revisión y el fortalecimiento de la sismología nacional, y como parte de ello se generaron diversos procesos normativos e institucionales que permitieron que en 1972 se creara la FUNVISIS, una entidad a la que se le responsabilizó de la investigación sismológica y que ha llegado a jugar un papel determinante en el estudio de esta disciplina particularmente en lo referente a aspectos como los siguientes:

- El soporte Documental y Técnico: FUNVISIS aportó material documental valioso acopiado en proyectos realizados para instituciones como PDVSA, lo que le permitió enriquecer el sustento bibliográfico de mucha de su producción científica.
- La consolidación de Redes Instrumentales: con la creación de FUNVISIS se dio un importante impulso a la consolidación de redes de estaciones sismográficas modernas; y cuyos datos se recogían en boletines que fueron publicados desde 1983, siendo estos una fuente fundamental para la catalogación de sismos contemporáneos.
- Institucionalización de la Investigación: la fundación permitió que el estudio de los sismos contemporáneos y del pasado pasara de ser una labor de investigadores aislados a una tarea mucho más articulada, que contaba con el apoyo del Estado y de rigor científico constante.
- Impulso Académico: A través de sus gestiones y alianzas con diversas universidades nacionales y el auspicio de múltiples jornadas técnicas, FUNVISIS llegó a ser el motor de la producción y publicación de múltiples estudios vinculados a la sismológica nacional y en los que destaca la consolidación de grupos y eventos específicos destinados al estudio de la Sismología Histórica como una disciplina analítica.

Un importante aspecto correspondiente al cierre de esta segunda etapa, es que está marcada por la publicación en 1999 del "Catálogo de Sismos Sentidos o Destructores: Venezuela 1530-1998", una obra de referencia en el estudio de la sismología histórica venezolana y que fue elaborada por los doctores José Grases, Rogelio Altez y Miguel Lugo. Esta obra recoge una revisión crítica y actualizada del trabajo original desarrollado por el Dr. Melchor Centeno Graü, y logra incorporar en el mismo nuevas fuentes documentales, que permiten corregir errores de fecha y hora de terremotos históricos y que amplía el acompañamiento de las descripciones históricas de grandes terremotos con parámetros de foco y magnitud estimados para los sismos de los últimos siglos (figura 1).

Desde una perspectiva metodológica, este catálogo se esmeró por superar la mera acumulación de datos para centrarse en un razonamiento científico y crítico sobre las fuentes. Algunos de los principales rasgos que en esta obra pueden distinguirse son los siguientes:



Figura 1. *Catálogo de Sismos de Venezuela 1530-1998*

Análisis Crítico de Fuentes: Los autores realizaron una "lectura entre líneas" de los repositorios documentales, discriminando entre relatos verídicos y tradiciones sin asidero, como la supuesta destrucción de Cubagua en 1543, que fue reevaluada como consecuencia de un huracán y no de un sismo.

- Identificación de Nuevas Fuentes: se incorporaron documentos de archivos previamente poco explorados, como el Archivo General de Indias, el Archivo Arquidiocesano de Caracas y diversas hemerotecas nacionales e internacionales.
- Correlación Técnico-Histórica: uno de los mayores aportes fue la correlación de los efectos descritos narrativamente con datos instrumentales, lo que permitió asignar parámetros de foco, magnitud y hora universal a los eventos, especialmente a los del siglo XX.
- Estandarización de Parámetros: la información de cada evento se organizó sistemáticamente incluyendo fecha,

hora universal (GMT), magnitud (en diversas escalas como Mw, Ms o mb), coordenadas geográficas del epicentro y profundidad focal.

- Manejo de Réplicas: El catálogo introdujo criterios para discriminar entre el evento principal y sus réplicas, un factor que suele perturbar la asignación de intensidades en relatos antiguos.

Todos estos elementos hacen que la relevancia de esta obra trascienda lo meramente histórico y la convierta en una herramienta práctica y de gran importancia tanto para conocer la recurrencia histórica de los importantes terremotos que han azotado al país, como para sensibilizar y promover esfuerzos orientados a reducir el riesgo de desastres por terremotos en las distintas regiones de Venezuela.

c. Siglo XXI (Desde 1999 hasta hoy)

Esta tercera etapa comienza a gestarse en la última década del siglo XX, un momento en que esta disciplina experimenta un cambio conceptual, pasando de llamarse "Sismicidad Histórica" a "Sismología Histórica" (en búsqueda de poder reflejar un enfoque más analítico y menos descriptivo de los terremotos histórico). Este periodo también se caracterizó por la incorporación de un espectro mucho más amplio de equipos de investigación nacionales y adscritos a las principales universidades del país como la Universidad Central de Venezuela (UCV), la Universidad de Los Andes (ULA) y la Universidad de Oriente (UDO), un hecho que dio pie a que se comenzaran a celebrar en el país encuentros especializados en la temática y entre los que destacan las jornadas y simposios en sismología histórica como las celebradas en Trujillo en 1997 y 2004, Mérida en 2000 y Caracas en 2002, y que ayudaron a fomentar el diálogo e intercambio entre científicos sociales y especialistas en Ciencias de la Tierra (figura 2).

Desde una perspectiva un poco más técnica, pudiera decirse que en esta etapa se evidencia un repunte en el uso de metodologías modernas para caracterizar grandes terremotos históricos, como es el caso del método de Bakun & Wentworth (B&W) que permitió reevaluar las magnitudes (Mw) e intensidades de grandes sismos históricos venezolanos, como los de 1610, 1674, 1812 y 1875, reduciendo notablemente la subjetividad de los relatos antiguos y estableciendo intervalos de confianza para la localización de epicentros y apoyar la estimación de sus intensidades.

Otro aspecto notable que se evidenció en esta etapa fueron los aportes que se desarrollaron en el Estudio Histórico de los Desastres Sísmicos, y que se caracterizan por la rigurosidad de los análisis de percepción histórica y social del riesgo y la memoria colectiva tras eventos catastróficos. En este sentido, se generaron aportes que permitieron entender con gran profundidad y rigurosidad los efectos y consecuencias que dejó en Caracas el terremoto de 1812, identificando incluso zonas que demostraron tener mayores grados de vulnerabilidad producto de sus tipos constructivos y condiciones del suelo, y entre los aportes que en este sentido se hicieron destaca sin duda el enorme legado que dejó el Dr. Rogelio Altéz, y quien sin duda es un referente indiscutible en el desarrollo de este tipo de aportes.



Figura 2*. Ejemplos de publicaciones y encuentros especializados sobre Sismología Histórica que se llegaron a desarrollar en el país entre finales del siglo pasado y la primera década de este siglo, y que fueron producto de la sólida cooperación que en esos años se daba entre las universidades y las instituciones del Estado.*

Uno de los aspectos más importantes de esta etapa lo constituyó el desarrollo de los esfuerzos que se dieron en el país con el fin de consolidar plataformas en la red, con el propósito de canalizar acceso abierto y permanente a los catálogos históricos de terremotos del país, y, en este sentido, conviene destacar el importante paso que en este sentido se llegó a lograr a través del proyecto denominado Sistema de Teleinformación de Sismología Histórica de Venezuela y que fue desarrollado gracias al apoyo de la Agenda de Investigación Aplicada a la Reducción de Riesgos de Desastres que entre los años 2000 y 2007 llegó a existir en el Ministerio de Ciencia y Tecnología .

El Sistema de Teleinformación de Sismología Histórica de Venezuela fue un proyecto concebido y desarrollado a comienzos de este siglo -como propuesta de proyecto presentada y publicada a principios del año 2003 y que logró consolidarse como plataforma digital y completamente funcional en 2008- que fue desarrollado bajo el liderazgo de la investigadora Christl Palme (Laboratorio de Geofísica de la Universidad de la ULA) (figura 3). Este proyecto nació con el propósito de rescatar, recopilar y sistematizar la memoria documental de los sismos destructivos ocurridos en el territorio venezolano desde la época colonial en adelante, y llegó a generar un primer catálogo digital, inspirado en los catálogos impresos que le precedieron y que pudiese servir de apoyo a la investigación geofísica, la evaluación del impacto histórico de los terremotos, así como para sensibilizar y socializar aspectos sobre la reducción del riesgo sísmico a nivel nacional.

El alcance que llegó a tener esta iniciativa fue significativo, particularmente por la manera como llegó a centralizar la información existente sobre el tema y por su potencial de brindar acceso público a través de internet a catálogos detallados, descargas de eventos y registros bibliográficos de sismicidad histórica que hasta entonces se encontraban dispersos en archivos físicos y crónicas coloniales. Su arquitectura digital permitió interconectar la investigación histórica con las necesidades de la investigación en geodinámica del país, y ello lo llevó a posicionarse como una útil herramienta de consulta de investigadores, planificadores urbanos y organismos de protección civil, entre otras entidades interesadas en comprender los patrones de recurrencia sísmica y los efectos de los terremotos históricos registrados en el país.



***Figura 3**. Portal web dedicado a la Sismología Histórica de Venezuela y que fue desarrollado a principios de este siglo en la ULA gracias al apoyo del Ministerio de Ciencia y Tecnología.*

Penosamente, a partir del año 2010, este importante proyecto experimentó un proceso de paulatino decaimiento como consecuencia directa de la inmensa crisis estructural, presupuestaria y operativa por la que han atravesado las universidades venezolanas. La falta de recursos financieros, sumada a la precariedad de los servicios básicos, los recurrentes apagones eléctricos y la fuga de talento especializado, imposibilitaron la actualización constante que una plataforma

tecnológica de esta naturaleza suele exigir, provocando la intermitencia y frecuente caída de los servidores institucionales que albergaban esta herramienta tan importante para el estudio y promoción de la reducción del riesgo sísmico en el país.



Figura 4. *Logo del OVRD.*

Afortunadamente se han logrado acuerdos importantes desde el año 2025 y que han permitido avanzar hacia un relanzamiento de una renovada y más completa versión del catálogo de los terremotos más importantes de la historia del país. Este lanzamiento se ha enmarcado en el lanzamiento durante el año 2026 del Observatorio Venezolano del Riesgo de Desastres (OVRD) (figura 4) y que se viene promoviendo en el marco del convenio de cooperación que mantiene la ULA y el Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR).

Este Observatorio pretende convertirse en un espacio dedicado a monitorear y caracterizar tanto la recurrencia histórica y el impacto que han dejado los mayores desastres que se han registrado en la historia del país, como los esfuerzos que han sido implementados para reducir las condiciones de riesgo que los precedieron, y en este sentido se prevé que uno de sus productos en línea será una nueva versión del catálogo de grandes terremotos sentidos y destructivos de Venezuela.

3. Mapa de intensidades sísmicas máximas estimadas en Venezuela

El arqueo documental que ha sido desarrollado para consolidar el registro de terremotos históricos de Venezuela, exigió la recopilación de los mejores artículos técnicos que han sido publicados con la intención de describir rigurosamente las características que pudieran asignarse a cada evento sísmico. Afortunadamente, el sector científico y académico nacional ha generado estudios muy completos de este tipo y que incluso han llegado a estimar –en base al uso de metodologías diversas– datos clave como la magnitud, localización epicentral, profundidad, entre otros, que permiten hoy reconstruir las características que pudieron tener las mayores sacudidas sísmicas registradas en nuestro país.

Probablemente uno de los resultados más útiles que se han desarrollado en este sentido son los mapas que brindan estimaciones espaciales de las intensidades con las que esos terremotos pudieran haberse sentido y que permiten intuir cómo dicha intensidad pudo haberse atenuado en la medida que nos alejamos de la zona epicentral identificada para cada gran terremoto. Estos mapas –técnicamente conocidos como mapas de isosistas– identifican zonas a las que se asignan valores específicos de la Escala de Mercalli Modificada (MMI por sus siglas en inglés) y que indican la intensidad de los efectos que pudieran haberse percibido en cada zona producto del terremoto en estudio.

A pesar de que en Venezuela contamos con estudios rigurosos que han permitido estimar mapas de intensidades sísmicas asociadas a nuestros grandes terremotos históricos, estos productos se encuentran dispersos en diversas publicaciones, presentaciones en congresos y otros espacios divulgativos de corte científico académico, y ello dificulta la posibilidad de tener una mirada de conjunto de todas las intensidades que han sido estimadas para nuestros grandes terremotos históricos.

Lo anterior ha propiciado adicionalmente que no exista hasta ahora una representación cartográfica única que intente integrar bajo una "lógica de comportamiento sísmico-espacial", todos esos mapas individuales de intensidades asociadas a grandes terremotos históricos, y ante ello los autores de este artículo decidimos desarrollar un primer esfuerzo dirigido a generar un mapa de intensidades sísmicas máximas estimadas en Venezuela con base al análisis de los mapas de isosistas que han sido desarrollados para los terremotos más importantes de la historia del país, y cuyas características y resultados más notables se presentan a continuación.

3.1 Limitaciones

Previo a la presentación de estos resultados conviene mencionar algunas limitaciones asociadas al esfuerzo y los resultados de un mapa de intensidades sísmicas máximas de Venezuela y entre las cuales destacan las siguientes:

Debilidades de la información preinstrumental: tal y como lo señalan algunos estudios en los que se basa este esfuerzo, existe una variada gama de factores que condicionan la calidad de la información y la precisión de las interpretaciones que en materia de sismicidad histórica se han llevado cabo en Venezuela, lo cual afecta, entre otros aspectos, la cobertura real o representatividad espacial de los mapas de isosistas elaborados por muchos investigadores –formados o no en sismología– y que se han basado en la evaluación de información macrosísmica (RODRÍGUEZ y AUDEMARD 2003). En este sentido es importante mencionar que algunos de los estudios fuentes utilizados en nuestro análisis se basaron en el uso de escalas de intensidad subjetivas y siempre sujetas a la lectura e interpretación del descriptor y/o del número de observaciones que se pudieran haber hecho sobre un terremoto en particular por parte de nuestros primeros cronistas, clérigos; editores de diarios nacionales o locales e incluso fotógrafos y cineastas (RODRÍGUEZ s.f.).

Entre los factores condicionantes que en este sentido aluden RODRÍGUEZ y AUDEMARD se listan: a) la importancia geopolítica y económica del área afectada; b) el aislamiento poblacional; c) la complejidad del contexto tectónico; d) la ubicación del epicentro en zonas despobladas y/o costa afuera; e) magnificación de daños por efectos de sitio y/o inducidos; f) preservación de las fuentes de información primaria y secundaria y su acceso; g) exageraciones o datos falsos en la descripción de los hechos; h) condiciones especiales "simultáneas" al evento sísmico y i) errores en la cronología de ocurrencia.

Inviabilidad de interpolación geoestadística automatizada: los avances en materia de SIG permiten en la actualidad realizar diversos tipos de análisis espacial o geoprocesamientos de importantes volúmenes de datos, sin embargo, si no se cuenta con una data robusta en cuanto a cantidad y cobertura espacial, muy probablemente los resultados a obtener de este tipo de procesamiento no se ajustarán al comportamiento "lógico-espacial" de la variable o fenómeno que se esté estudiando. La forma como se abordó este reto se resume en la metodología que describe el esfuerzo desarrollado.

3.2 Metodología

Los esfuerzos desarrollados en cada etapa de este estudio se resumen a continuación:

- Selección de los terremotos de mayor intensidad y de los estudios-fuente

Se procedió a revisar una base de datos constituida por 190 registros de grandes sismos históricos y algunos instrumentales acontecidos en Venezuela. Este esfuerzo se desarrolló junto a un equipo de investigadores del Laboratorio de Geofísica de la ULA y con quienes se seleccionó un listado preliminar compuesto de 14 grandes eventos telúricos registrados entre 1530 y 2025, y a los que pudiesen atribuirse las mayores intensidades asociadas (Tabla 1).

Tabla 1. *Listado preliminar de sismos*

Año	Epicentro	Intensidad máxima
1530	Cumaná	X
1610	La Grita	X
1641	Caracas	IX
1644	Pamplona (Colombia)	VII
1674	Mérida/Gibraltar	VIII
1766	Oeste de Cumaná	VIII
1812	Caracas	IX
1812	Mérida	IX-X
1853	Cumaná	IX
1875	Cúcuta (Colombia)	X
1894	Selva de Onia	X
1900	Alta mar	IX-X
1967	Oeste de Catia la Mar	VIII
2025	Mene Grande	VIII

Fuente: Laboratorio de Geofísica, Facultad de Ciencias – ULA con base en estudios de diversos investigadores.

Para garantizar que estos eventos fuesen suficientes para poder identificar las mayores intensidades de sacudidas sísmicas registradas en cada punto del territorio del país, nos aseguramos de que estos terremotos seleccionados cumplieran con dos criterios fundamentales:

1. Que correspondieran con los de mayor intensidad estimada dentro del total de eventos existentes en la base de datos.
2. Que cubrieran en su conjunto la totalidad del territorio nacional, y que al superponer sus mapas de isosistas demostraran definir máximos de intensidad registrados para un punto particular del territorio.

Aplicando dichos criterios surgió un nuevo listado de eventos seleccionados que estuvo integrado por 9 grandes terremotos, al que se le adicionó el reciente sismo de La Guaira del 24 de junio de 2026 tomando en cuenta los parámetros corregidos y publicados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), lo que condujo a un listado final de grandes terremotos nacionales a ser usados y cuyas características se resumen a continuación (Tabla 2).

Tabla 2*. Listado final de sismos considerados*

Año	Epicentro (localidad y entidad actual)	Magnitud*	Intensidad máxima	Principales efectos	Estudio-Fuente
1610	La Grita (estado Táchira)	7,1-7,3 Ms	X	Terremoto de San Blas: destruyó la población de La Grita y generó un masivo alud sísmico que provocó el represamiento del río Mocotíes en Bailadores (actual sector La Playa), afectando con el tiempo la agricultura y los poblados aguas abajo (AUDEMARD 1998). Este evento causó la muerte de más de 60 personas (FUNVISIS 2024).	Franck Audemard (1998). Contribución de la paleosismología a la sismicidad histórica: los terremotos de 1610 y 1894 en los Andes

					venezolanos meridionales.
1674	Mérida/Gibraltar (estados Mérida y Zulia)	6,6-7,0 Ms	VIII	Terremoto de los Andes: produjo deslizamientos de tierra (ALTEZ 2010) que ocasionaron crecidas de los ríos que inundaron las grandes plantaciones de cacao de las poblaciones de Mérida y Gibraltar. Junto con el tabaco, este rubro representaba la mayor riqueza de la época; su destrucción causó una difícil situación socio-económica en la región (PALME y ALTEZ 2002).	Christl Palme y Rogelio Altez (2002). Los terremotos de 1673 y 1674 en los Andes venezolanos.
1766	Oeste de Cumaná (estado Sucre)	7,8-7,9 Ms	VIII	Terremoto de Santa Úrsula: tuvo efectos en más de 60 localidades. Destruyó gran parte de la población de Cumaná y en menor medida Caracas, Pampatar y la isla de Trinidad; las réplicas duraron hasta por 14 meses (GRASES 2006). Se abrieron grietas en la tierra (ALTEZ 2010).	José Grases (2006). El terremoto del 21 de octubre de 1766. Inicio de la sismicidad histórica en Venezuela.
1812	- Caracas (Distrito Capital) - Mérida (estado Mérida)	6,3[1] 7,0[2]	IX-X	Terremoto del Jueves Santo: de acuerdo a ALTEZ (2005), destruyó casi en su totalidad a la ciudad de Caracas (viviendas, templos y conventos), La Guaira, Barquisimeto y Mérida. Aparecieron ladrones que buscaban entre los escombros objetos sagrados y valiosos de las ruinas de las iglesias. De forma general afectó el proceso independentista y dejó alrededor de más de mil fallecidos (ALTEZ 2010).	Rogelio Altez (2005). Los sismos del 26 de marzo de 1812 en Venezuela: nuevos aportes y evidencias sobre estos eventos.
1853	Cumaná (estado Sucre)	7,1 y 7,3 Ms	IX[3]	Terremoto de Cumaná: según AUDEMARD (2007), todas las viviendas de mampostería fueron derribadas, edificios públicos, iglesias y un puente. Se abrieron grietas en la tierra. Las réplicas duraron alrededor de 15 días. Provocó un tsunami que inundó cerca de 200 varas y hubo centenares de fallecidos (ALTEZ 2010).	Frank Audemard (2007). Revised seismic history of the El Pilar fault, Northeastern Venezuela, from the Cariaco 1997 earthquake and recent preliminary paleoseismic results.
1875	Cúcuta (Colombia)	6,8-6,9 Mw[4]	X[5]	Terremoto de Cúcuta: en Venezuela fueron arruinados, unos totalmente y otros en parte, los poblados de San Antonio, Ureña, San Cristóbal, La Grita, Lobatera, Michelena y otras poblaciones importantes. Dio paso a la fundación de Capacho Nuevo en el estado Táchira tras la destrucción de Capacho "viejo" (ALTEZ 2010). Dejó aproximadamente 2.000 fallecidos (FUNVISIS 2026).	Rodríguez et al. (2017). Identification of the seismogenic source of the 1875 Cucuta earthquake on the basis of a combination of neotectonic, paleoseismologic

					and historic seismicity studies.
1894	Selva de Onia (estado Mérida)	7,0	X	Gran terremoto de los Andes: De acuerdo a KINGLAND *et al.* (2008), destruyó las poblaciones de Santa Cruz de Mora, Tovar, Zea, Mesa Bolívar, San Juan de Lagunillas, Chiguará y Mérida, se perdieron viviendas, iglesias, lugares públicos, una estación de ferrocarril y mercancías. Hubo grietas en la tierra. Las personas estaban en su mayoría fuera de casa por lo que la pérdida de vidas sólo alcanzó la cifra de diez o doce individuos (ALTEZ 2010).	Jorge Kingland, Rafael Torres y Pether Inglessis (2008). Ecuación de atenuación de intensidad macrosísmica y mapa de isosistas para el gran terremoto de los Andes de 1894.
1900	Alta mar (al Norte del estado La Guaira)	7,6-7,7 Mw	IX-X	Terremoto de San Narciso: la cercanía del epicentro a la costa explica por qué se vio afectada la población de Caracas y el litoral central (lugares donde se sintieron los mayores efectos del evento). Se reportaron en Caracas 21 muertos y más de 50 heridos, y en Macuto 7 muertos y 30 heridos; por otro lado, hubo afectaciones menores en viviendas, templos en La Guaira, Maiquetía, Naiguatá y Caraballeda, entre otras poblaciones cercanas. Hubo deslizamientos de tierra, fuerte oleaje y aumento de la temperatura del río Aguas Calientes que derivó en la muerte de peces, entre otros efectos (ALTEZ 2010).	Colón et al. (2015). The 1900 Mw 7.6 earthquake offshore north-central Venezuela: Is La Tortuga or San Sebastian the source fault?
2025	Este-Noreste de Mene Grande (estado Zulia)	6,3 Mw	VIII	Sismo de Mene Grande: este movimiento telúrico fue percibido en varios estados del occidente del país, no generó daños estructurales mayores, pero, según el CIGIR (2026), sí dejó afectadas a 110 personas quienes fueron hospitalizadas.	USGS (2026a)
2026	Noroeste de Catia La Mar (estado La Guaira)	7,5 Mw	IX	Doblete sísmico: además del estado La Guaira, afectó a otros estados como Yaracuy, Carabobo, Aragua y la capital del país, Caracas. Este evento telúrico de gran energía causó el colapso de varios edificios (SCHMITZ 2026), más de un centenar en el estado La Guaira (LÓPEZ 2026), ocasionó severos daños en infraestructura y servicios públicos, deslizamientos en zonas costeras y montañosas, además de derivar una intensa secuencia de más de mil réplicas en las semanas posteriores. El último boletín oficial publicado el 24 de agosto de 2026 reportó las siguientes cifras: número de fallecidos: 6.509, número de	USGS (2026b)

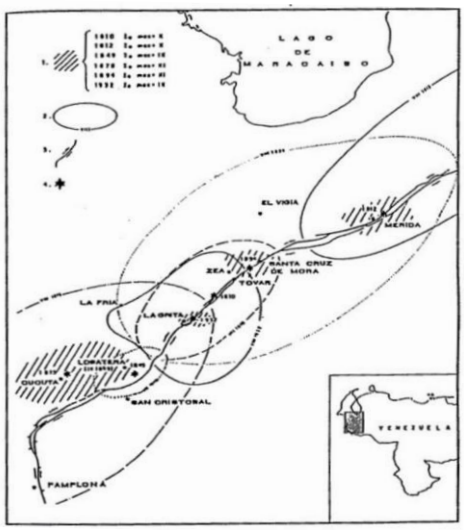
				rescatados: 6.462, número de personas atendidas en hospitales: 226.696 y número total de viviendas evaluadas: 60.785 (RODRÍGUEZ 2026).	

Fuente: [1]GRASES (1990), [2]GRASES (1990), [3]FUNVISIS (1994), [4]RODRÍGUEZ *et al.* (2015) [5]RODRÍGUEZ *et al.* (2015).

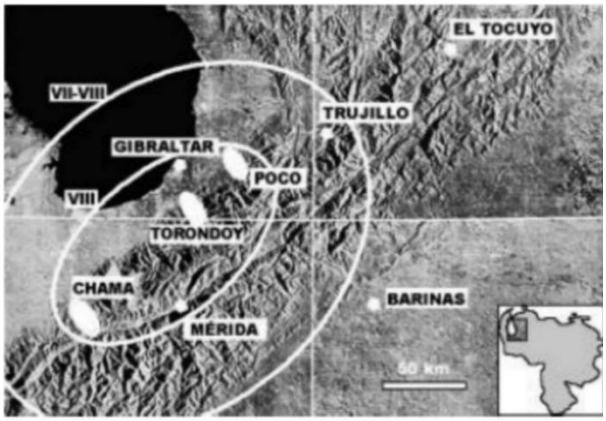
*En algunas magnitudes no se logró conocer la escala utilizada, de allí que no se señale la nomenclatura correspondiente.

- **Del geoprocesamiento**

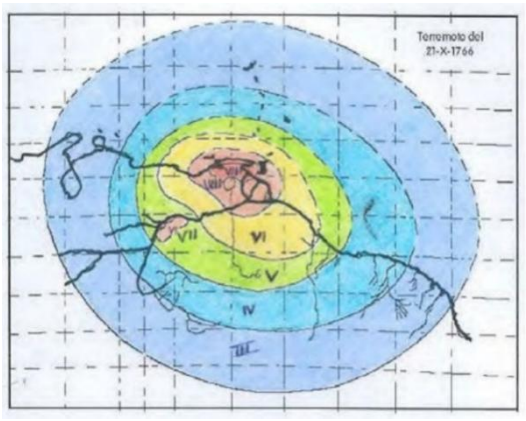
Las representaciones espaciales referenciadas según los diferentes estudios-fuente que se seleccionaron (ver Tabla 2) se muestran a continuación (Figuras de la 5 a la 13):



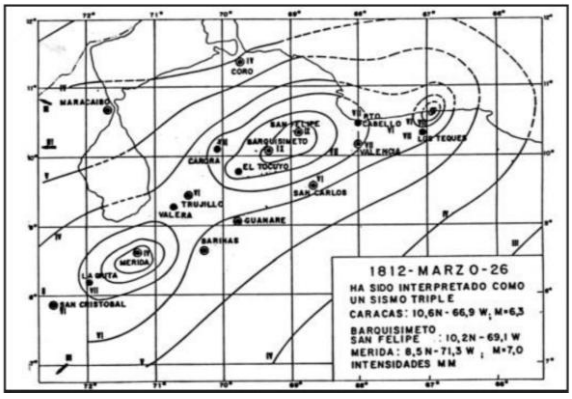
Fuente: para el sismo de 1610 Soulas et al. (1987) en Audemard (1998), y para el de 1875 Soulas et al. (1987) en Rodríguez et al. (2017).
Figura 5*. Isosistas de los sismos de 1610 y 1875.*



Fuente: PDVSA (1967) en Palme y Altez (2002).
Figura 6*. Isosistas del sismo de 1674.*



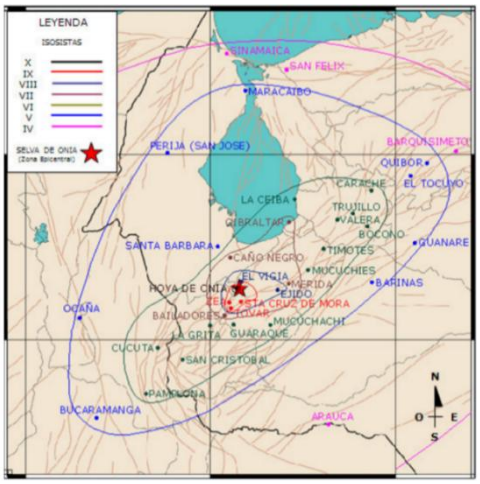
Fuente: Grases (1990) en Grases (2006).
Figura 7*. Isosistas del sismo de 1766.*



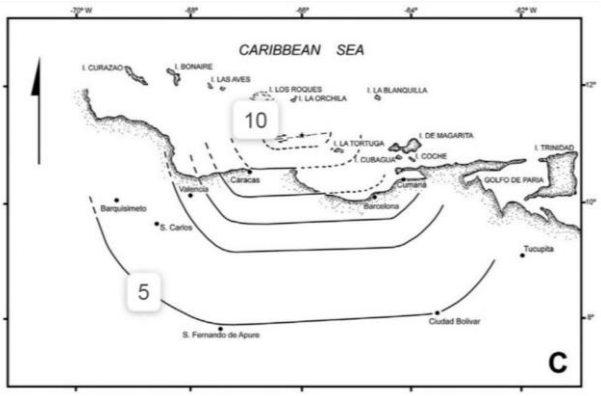
Fuente: Grases (1990) en Altez (2005).
Figura 8*. Isosistas del sismo de 1812.*



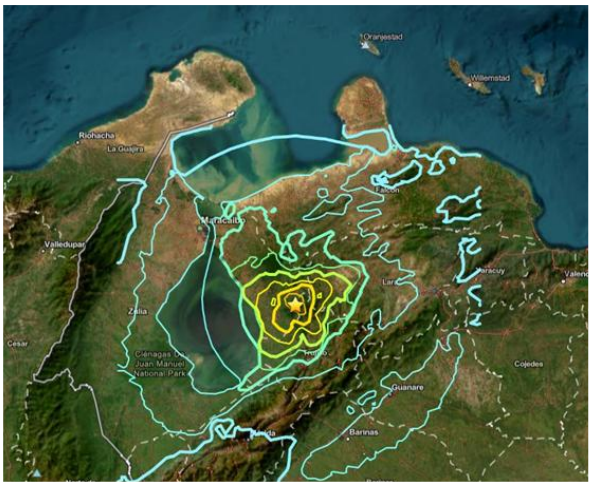
Fuente: FUNVISIS (1994) en Audemard (2007).
Figura 9*. Isosistas del sismo de 1853.*



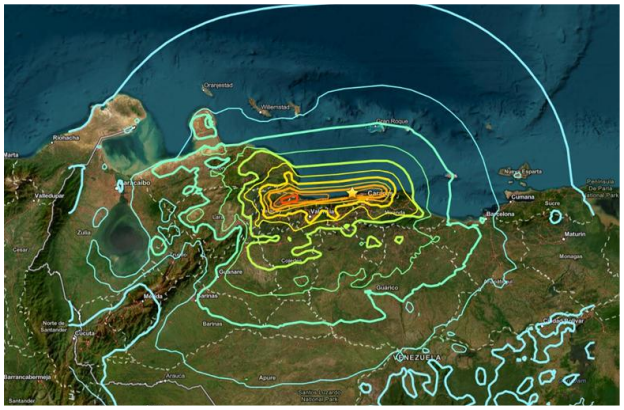
Fuente: Kingland et al. (2008).
Figura 10*. Isosistas del sismo de 1894.*



Fuente: Jakubowicz y Larotta (1974) en Colón et al. (2015).
Figura 11*. Isosistas del sismo de 1900.*



Fuente: USGS (2026a).
Figura 12*. Isosistas del sismo de 2025.*



Fuente: USGS (2026b).
Figura 13*. Isosistas del sismo de 2026.*

Un primer reto que emergió en el marco de este análisis estuvo asociado al surgimiento en los últimos años de nuevas tecnologías y modelos que son ahora capaces de estimar de manera muy rápida las intensidades de los efectos percibidos en las zonas cercanas al epicentro de un gran terremoto. Un esfuerzo que durante mucho tiempo se basó en el procesamiento de encuestas de percepción que eran recogidas y procesadas (e incluso enriquecidas con datos de modelos de atenuación que pudieran disponerse) y cuyos resultados solían tomar tiempo en poder ser obtenidos. Actualmente este proceso se realiza de forma casi automática (usando metodologías como la sugerida por WORDEN *et al.* [2012]) y se traduce en mapas como los generados para estimar las intensidades de los terremotos de 2025 y 2026 (figuras 12 y 13) que elaboró el Servicio Geológico de Estados Unidos USGS.

Esta propuesta transforma la escala cualitativa tradicional - que expresaba en números romanos los efectos percibidos de un sismo- en un modelo matemático probabilístico capaz de calcular la intensidad sísmica a partir de parámetros físicos y registros acelerográficos, que elimina la subjetividad de los métodos previos. Lo anterior exigió adecuar a la escala tradicional estos nuevos resultados e inclusive resolver problemas de legibilidad identificados en algunos mapas de isosistas en donde incluso se carecía de coordenadas geográficas. Para subsanar estos últimos errores se tuvo que recurrir al uso de complementos del software QGIS versión 3.34.5 como *Freehand Ráster Georeferencer*, y que nos permitió realizar los ajustes necesarios para homologar y georreferenciar las imágenes que presentaban dificultades.

Una vez solventados los anteriores obstáculos, se procedió a digitalizar las isosistas de cada representación espacial georreferenciada a través de la creación de capas vectoriales de polígonos (Figura 14 y 15), con base en la Escala de Mercalli Modificada (MMI), cuyos niveles y colores se adoptaron del USGS (2026) (Figura 16).

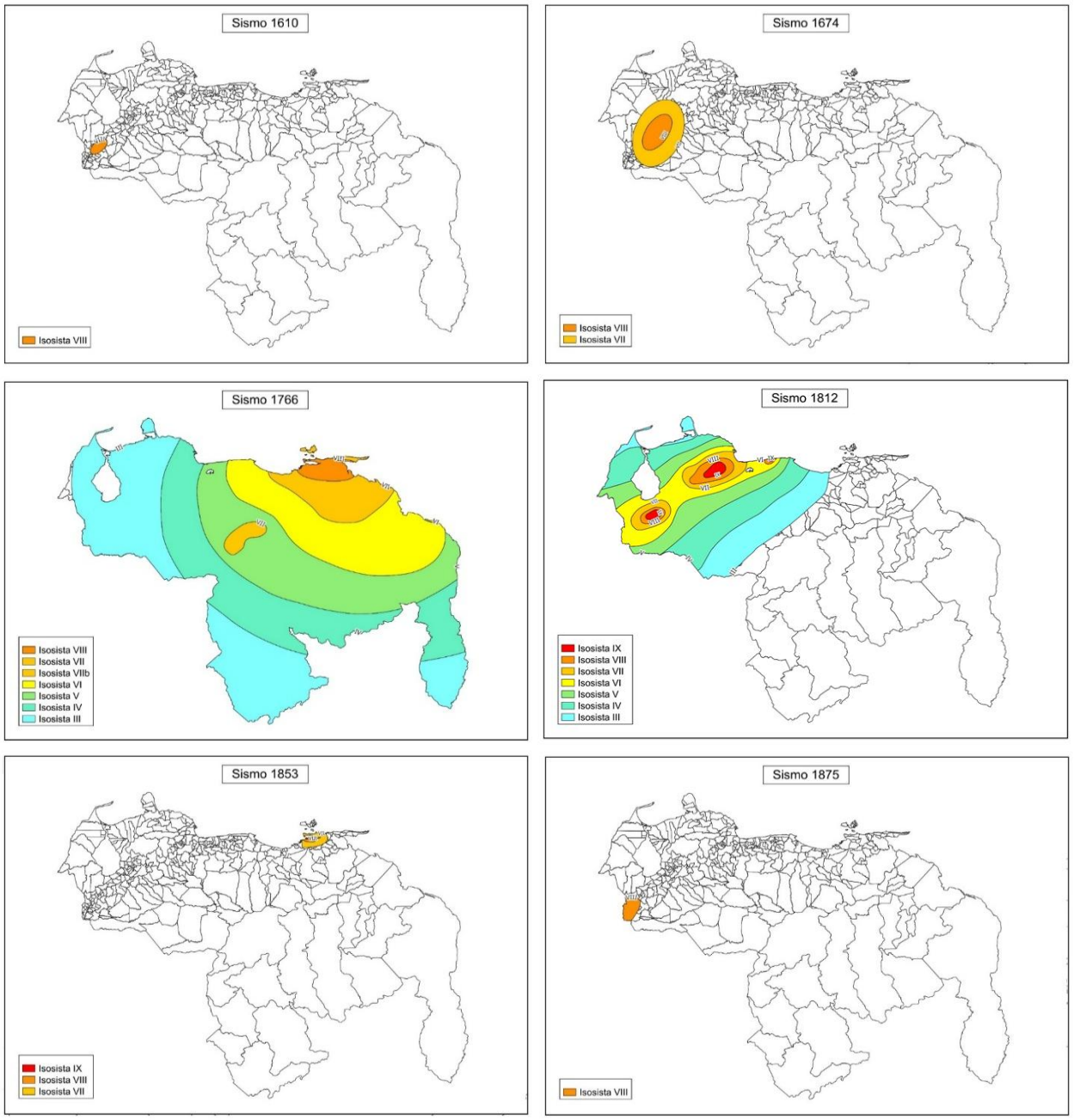


Figura 14*. Isosistas digitalizadas de terremotos seleccionados. Eventos de: 1610, 1674, 1766, 1812, 1853 y 1875.*

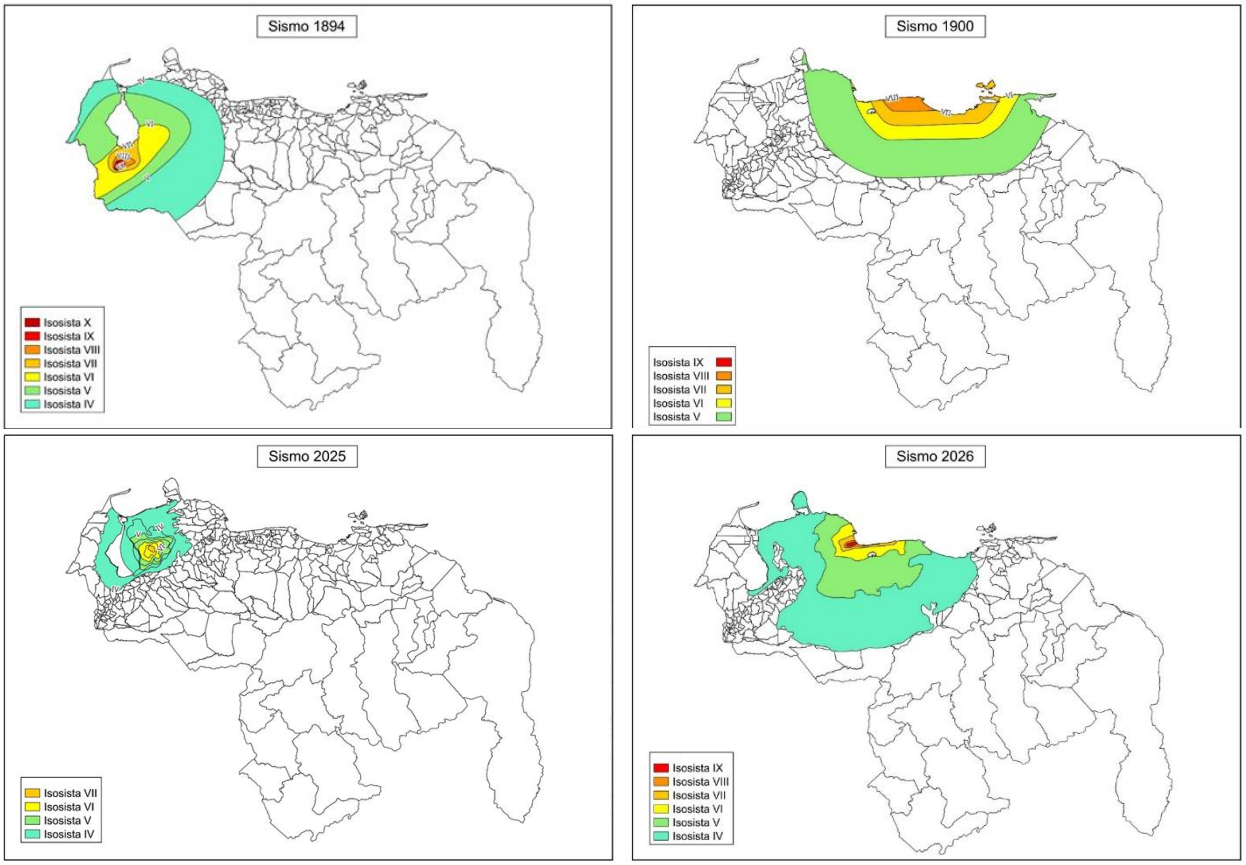


***Figura 15**. Isosistas digitalizadas según terremotos y estudios-fuente seleccionados. Eventos de: 1894, 1900, 2025 y 2026.*

Intensity	Shaking	Description/Damage
I	Not felt	Not felt except by a very few under especially favorable conditions.
II	Weak	Felt only by a few persons at rest,especially on upper floors of buildings.
III	Weak	Felt quite noticeably by persons indoors, especially on upper floors of buildings. Many people do not recognize it as an earthquake. Standing motor cars may rock slightly. Vibrations similar to the passing of a truck. Duration estimated.
IV	Light	Felt indoors by many, outdoors by few during the day. At night, some awakened. Dishes, windows, doors disturbed; walls make cracking sound. Sensation like heavy truck striking building. Standing motor cars rocked noticeably.
V	Moderate	Felt by nearly everyone; many awakened. Some dishes, windows broken. Unstable objects overturned. Pendulum clocks may stop.
VI	Strong	Felt by all, many frightened. Some heavy furniture moved; a few instances of fallen plaster. Damage slight.
VII	Very strong	Damage negligible in buildings of good design and construction; slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable damage in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken.
VIII	Severe	Damage slight in specially designed structures; considerable damage in ordinary substantial buildings with partial collapse. Damage great in poorly built structures. Fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls. Heavy furniture overturned.
IX	Violent	Damage considerable in specially designed structures; well-designed frame structures thrown out of plumb. Damage great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations.
X	Extreme	Some well-built wooden structures destroyed; most masonry and frame structures destroyed with foundations. Rails bent.

Fuente: USGS (2026c).

***Figura 16**. Escala de Mercalli Modificada (MMI).*

Una vez digitalizadas todas las representaciones espaciales de las isosistas de cada evento seleccionado, se procedió a la superposición de las capas de todos los sismos, resultando el producto que se muestra en la Figura 17.

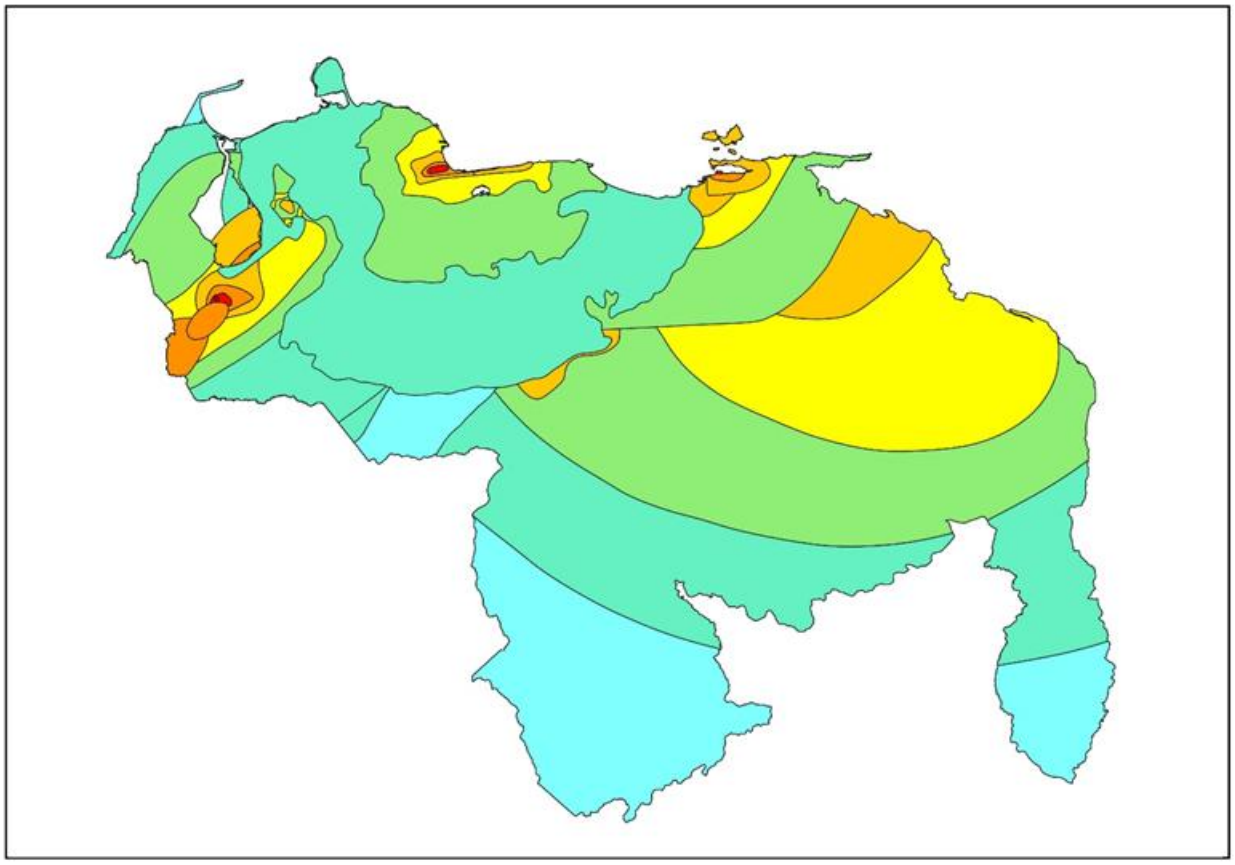


Figura 17*. Superposición de las capas digitalizadas de los sismos seleccionados.*

Inmediatamente se procedió a generar el geoprocesamiento requerido para poder obtener patrones claros de un mapa que fuese capaz de sugerir la máxima intensidad sísmica que se ha registrado en cada punto de la geografía venezolana con base en los registros históricos de nuestra sismicidad. Para ello se establecieron dos criterios centrales:

1. Fusionar todas las franjas de isosistas de similar valor y que pudiesen brindar continuidad a dicho grado de intensidad en todo el territorio.
2. Seleccionar a la isosista identificada con el mayor valor de intensidad como la que prevalecería sobre las de menor valor en todas las áreas donde existiese un solapamiento de isosistas correspondientes a dos o más sismos, y proceder a digitalizar solo las áreas de mayor intensidad y a descartar las zonas superpuestas de intensidades que mostraban menores o iguales valores asociados a otros terremotos históricos

Aplicados en conjunto los criterios anteriores, se realizó un análisis visual detallado de cada franja de isosista digitalizada según los terremotos y estudios-fuente seleccionados, proceso que permitió generar el producto cartográfico final y que podemos referir como el mapa de intensidades sísmicas máximas estimadas para Venezuela en el período comprendido entre los años 1530-2026.

- **De la validación**

A efectos de validar el resultado cartográfico final del Mapa de intensidades sísmicas máximas de Venezuela, se le superpuso un conjunto de puntos de intensidad sísmica tomando como base la información del mapa interactivo "Terremotos históricos con reportes de daños" del CIGIR (2026), con la finalidad de conocer el número (y porcentaje) de puntos cuya intensidad máxima coincidiera con las franjas de isosistas del mapa derivado en esta investigación; sin embargo, antes de realizar la superposición, se procedió a un proceso de depuración de la data.

En el marco de este proceso se identificó que del total de 142 puntos descripciones de sismos acontecidos entre 1530 y la actualidad (2026), fue necesario eliminar aquellos puntos que tuvieran las siguientes características:

- Los sismos con localidades fuera del territorio nacional (República de Colombia y mar Caribe).
- Los sismos sin dato numérico de intensidad.

Una vez hecho este proceso de depuración, obtuvimos un total de 116 eventos, los cuales fueron superpuestos sobre el mapa final resultante, el cual se muestra en la sección de resultados.

Adicionalmente, se realizó una comparación del Mapa final antes del 24 de junio de 2026 y después de esa fecha, puesto que antes de ese día cuando aconteció el terremoto de mayor magnitud (7,5) en Venezuela, ya se contaba con una primera versión del Mapa de intensidades sísmicas máximas del país. Este esfuerzo sirvió como segundo elemento aproximativo de validación del producto cartográfico de esta investigación.

3. 3 De los resultados, su importancia y potenciales usos

- **Sobre el mapa de intensidades sísmicas máximas registradas en Venezuela**

El mapa resultante de este trabajo (figura 18) exhibe que las áreas donde se han registrado los mayores efectos en superficie y daños asociados a terremotos destructivos históricos se ubican (de oeste a este) en los estados Mérida, Lara, Yaracuy, Carabobo, Distrito Capital, La Guaira y Sucre, con intensidades máximas identificadas por diversos autores que varían entre IX y X en la Escala de MMI (colores rojos). También destaca aquí extensiones importantes de Táchira, Trujillo, Aragua, Miranda, norte de Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, donde se han registrado intensidades de VIII y VII (MMI, colores anaranjados). Resulta también interesante evidenciar que los resultados de este mapa sugieren –al igual que lo hace el Mapa de amenaza sísmica de Venezuela de FUVISIS- que las zonas del país donde se han detectado las mayores intensidades sísmicas se distribuyen en el arco andino-montañoso costero, donde vale la pena recordar que se asienta cerca del 80% de la población venezolana, lo que representa una "congruencia lógica" entre ambos mapas.

Hacia la zona noroccidental del país (parte del estado Lara, la totalidad de Falcón y una importante extensión del Zulia), así como al suroeste y sur de la nación, se hace posible observar que en a medida que las franjas se alejan de la orografía donde se localizan los sistemas de fallas principales que han originado los sismos destructivos históricos, se van "atenuando" también los niveles de intensidad máxima sugeridos en los diversos estudios que sirvieron de base a esta investigación. De allí que se observe un claro decaimiento en las intensidades máximas registradas en la medida que nos alejamos del arco andino costero y que se evidencia en el cambio de los colores del mapa y que pasan desde el amarillo (intensidad VI) y verde (V) hasta los azules (IV y III). Esto se evidencia en todo el país, a excepción de una curiosa mancha que pareciera representar una "isla" en que dicha intensidad máxima registrada se incrementa levemente (ubicada al noroeste del estado Bolívar) y que es representada por GRASES (1990) en GRASES (2006) para el terremoto de 1766.

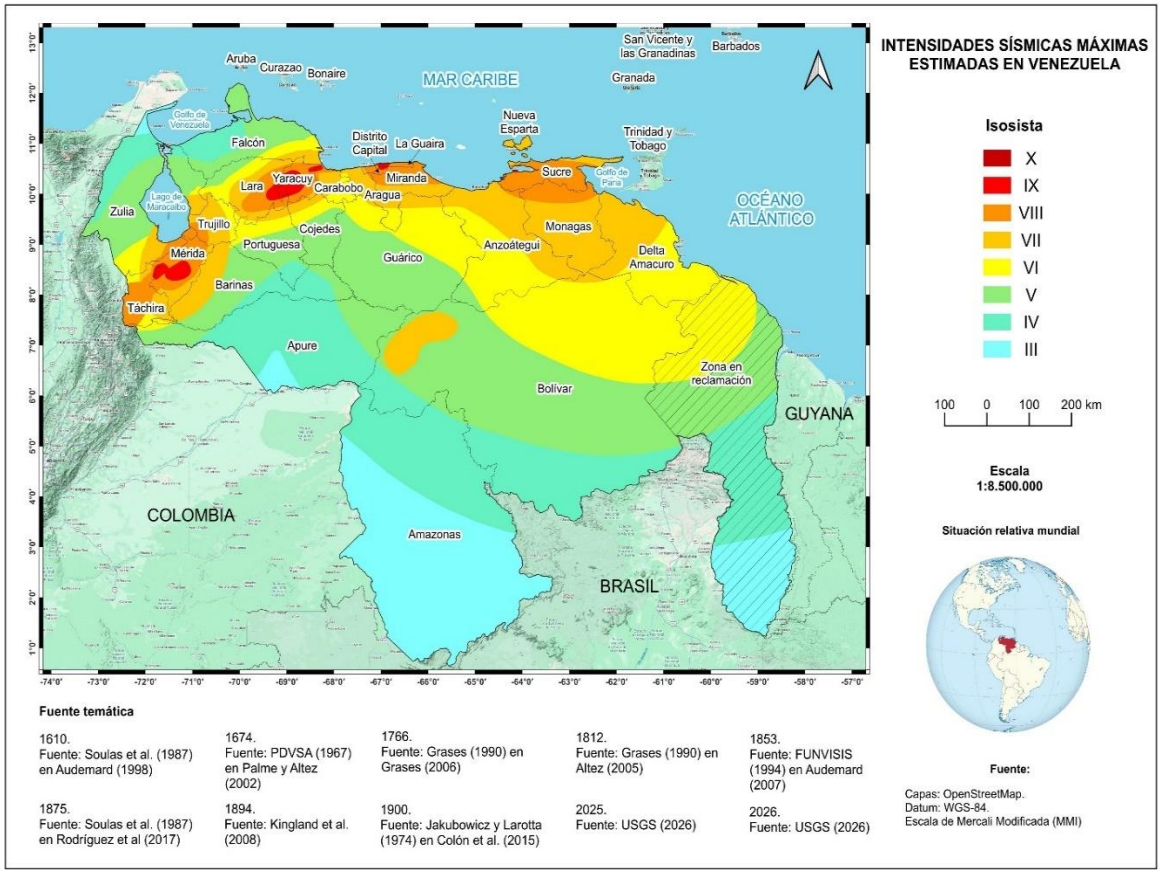


Figura 18*. Mapa de intensidades sísmicas máximas de Venezuela.*

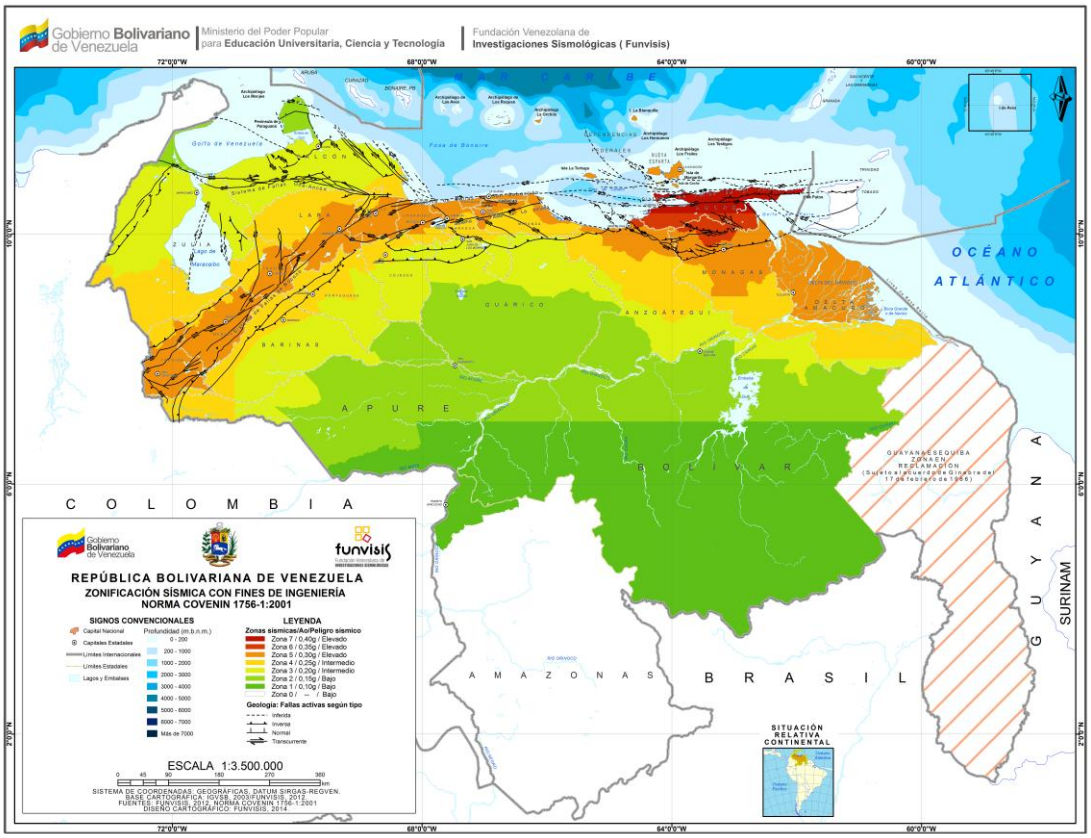
- **Mapa de zonificación sísmica versus el Mapa de intensidades sísmicas máximas**

Es bien sabido en Venezuela que el conocimiento de la amenaza sísmica nacional constituye una herramienta fundamental para garantizar: (i) el diseño de edificaciones más seguras, (ii) la planificación de nuevos desarrollos, (iii) la evaluación de construcciones existentes y (iv) la estimación de riesgos, y, en general, para la toma de decisiones con el objetivo central de prevenir el impacto que pudiesen ocasionar los sismos y reducir los daños y salvaguardar vidas.

Un recurso emblemático que recoge los resultados de muchos estudios de amenaza sísmica en el territorio nacional, lo representa el Mapa de Zonificación Sísmica con fines de ingeniería (Norma COVENIN 1756-2001) (Figura 19) que clasifica a Venezuela en ocho zonas de amenaza sísmica y que varían en una escala que va desde el 0 al 7, y donde se distinguen tres zonas de peligrosidad elevada, dos de peligrosidad intermedia y tres de peligrosidad baja, y donde se destaca al estado Sucre como la zona de mayor amenaza sísmica. Siguiendo esa clasificación luego aparece una zona 6 que cubre todo el sur de esta misma entidad oriental y parte del norte del estado Monagas, y después por una amplia extensión que cubre el arco montañoso andino-costero que se extiende desde el extremo suroeste de Venezuela (en Táchira) y que abarca los tres estados andinos, pasando por la región centro-norte costera, y se prolonga hasta la zona de la región nororiental del país.

Los mapas oficiales de amenaza sísmica que han sido desarrollados en nuestro país recogen datos de una gran cantidad de fuentes, metodologías y estudios geológicos y sismológicos que sirven de base para la realización de investigaciones prospectivas sobre la amenaza de futuros terremotos y que según PÉREZ (2022) "emplean métodos probabilísticos paramétricos basados en leyes estadísticas, obtenidos a partir de la información contenida en un catálogo de sismos" (p.73).

Sobre estos productos cartográficos se ha dicho que los mismos constituyen una valiosa herramienta de consulta preventiva, y en este sentido AUDEMARD (1998) ha sugerido que ello se debe a su capacidad de orientar decisiones capaces de "hacer más seguras - desde el punto de vista sismorresistente - aquellas estructuras de gran importancia económica o de gran peligrosidad para la comunidad por su naturaleza (represas, plantas nucleares, poliductos y refinerías petroleras, entre otros)" (p.91). Adicionalmente se ha sugerido que este tipo de mapas permite la identificación de las áreas de mayor o menor peligrosidad asociada a la exposición de la amenaza sísmica, indicando aquellos espacios ubicados en áreas de mayor recurrencia de movimientos telúricos, y ello, de acuerdo a SINGER (2012), permite "optimizar el comportamiento sismorresistente de las viviendas o de otro tipo de construcciones ante niveles de riesgo económicamente y socialmente aceptables por medio de diseños ingenieriles adecuados" (p.13).



Fuente: FUNVISIS (2014).

Figura 19*. Mapa de Zonificación Sísmica con fines de ingeniería de Venezuela.*

A la hora de comparar el mapa de amenazas oficial de Venezuela con el producto cartográfico resultante de la presente investigación (ver Figura 18), es importante definir que si bien el primero de estos se nutre del procesamiento de datos, registros y evaluaciones probabilísticas-instrumentales de la amenaza sísmica, el mapa de intensidades sísmicas máximas que aquí se presenta solo se limita a reflejar la distribución y patrones espaciales donde -según autores reconocidos y fuentes seleccionadas por su alta rigurosidad- se estiman las máximas severidades del movimiento del suelo que pudiesen estimarse para cada punto del territorio nacional, y ello pudiera ser un aporte útil a la hora de estimar los efectos directos que una repetición de dicha sacudida máxima registrada históricamente pudiera representar en términos de daños en la infraestructura, alteraciones físicas en el terreno y pérdidas económicas o humanas. En este sentido, algunos autores (KINGLAND *et al.* 2008) han sugerido que la relevancia de estos mapas radica en que "indican la extensión geográfica de los daños y su variación espacial" (p.16), lo que permite afinar escenarios de riesgo y elaborar planes de contingencia para anticipar el comportamiento territorial ante eventuales sismos de dinámicas similares a los documentados históricamente.

En definitiva, es preciso enfatizar la naturaleza diferencial de ambos instrumentos cartográficos: mientras el Mapa de amenaza sísmica se sustenta en datos instrumentales y orienta, por ejemplo, la prevención y el diseño sismorresistente en la ingeniería, y sus colores rojos más oscuros representan mayor amenaza sísmica (basados en magnitud, probabilidad de ocurrencia y recurrencia, etc); el Mapa de intensidades sísmicas máximas exhibe los efectos que los sismos más destructivos han generado sobre la población, sus infraestructuras y el paisaje, en donde aquellas coloraciones (los colores rojos) significan en dónde se han registrado históricamente los mayores (o menores) efectos y daños.

Es importante aclarar que el producto cartográfico que aquí se presenta no es adecuado a efectos de señalar el nivel de amenaza sísmica que se pudiese estimar para una región particular del país, y ello obedece al conjunto de parámetros adicionales de análisis que deberían ser tomados en cuenta para brindar una respuesta de ese tipo y que en este producto no son considerados. Un ejemplo de estos parámetros de análisis que aquí se obvia, es sin duda el de la recurrencia histórica de terremotos (periodos de retorno estimados para eventos de similar magnitud) y que constituye un parámetro que es adecuadamente considerado en el mapa oficial de Amenaza Sísmica de FUNVISIS y que en buena medida propicia que oficialmente se señale al oriente del país como la zona de mayor amenaza sísmica de Venezuela, pese a que pueda demostrarse que las máximas intensidades sísmicas registradas históricamente en esa zona - y que son recogidas en un nuestro mapa - no identifiquen allí las intensidades máximas generadas por nuestros terremotos.

Lo anterior sirve para ilustrar que el mapa de amenaza sísmica de Venezuela y el mapa que aquí se genera tienen objetivos distintos y han sido elaborados en base a parámetros y formas de procesamiento diferentes. Bajo ningún concepto uno sustituye al otro y de hecho ambos en realidad se complementan, al ilustrar miradas distintas del comportamiento espacio-territorial de la sismicidad identificada en el territorio de Venezuela.

Adicionalmente conviene destacar las bondades que brida el poder contar con un mapa de intensidades sísmicas máximas como el aquí generado a la hora de complementar la investigación sismológica e incluso a la hora de promover esfuerzos destinados a sensibilizar a los diversos sectores y poblaciones del país con relación al tema, y que gracias a esta herramienta se les puede hacer ver las características de la máxima sacudida que –según algún autor reconocido– se estima que pudiera haberse dado en su entorno en algún momento de nuestra historia.

- **Hallazgos derivados de la validación**

A la hora de resumir estos resultados es necesario acotar tres aspectos. Primero, conviene recordar que, a efectos de la validación del mapa de intensidades máximas generado, se realizó la superposición en el mismo de los puntos de intensidad sísmica contenidos en la base de datos georeferenciada denominada Mapa interactivo de *Terremotos históricos con reportes de daños* y que se puede consultar en el portal web del CIGIR (2026). Este recurso recoge información de diferentes fuentes y de una totalidad de 116 de sus terremotos ubicados en la parte continental de Venezuela, el 83,3% se situó, según su valor de intensidad, dentro de alguna de las franjas del Mapa de intensidades sísmicas máximas que le correspondía, lo que significa, a nuestro juicio, un elevado porcentaje de coincidencia y que le otorga un alto grado de confiabilidad al producto cartográfico generado. La no correspondencia del restante porcentaje de puntos (16,7%), probablemente obedeció en algunos casos a condiciones de sitio, u otros factores que escapan a los objetivos del presente trabajo.

Lo segundo que es importante señalar, tal como se mencionó en la sección metodológica, es que, antes del evento sísmico que aconteció en el país el 24 de junio, ya nuestro equipo de trabajo contaba con una versión final de este mapa de intensidades sísmicas máximas para Venezuela, sin embargo, el potente terremoto de mayor magnitud 7,5 Mw que se registró en esa fecha nos obligó a considerarlo e incorporarlo dentro de nuestro mapa.

En la Figura 20 se logra apreciar el antes (a) y el después (b) del 24 de junio del mapa en cuestión, y allí se observa claramente que los cambios registrados tras este nuevo terremoto son apenas perceptibles, salvo para el óvalo rojo que se extiende hacia el noreste de Yaracuy y parte del noroeste de Carabobo. Se hace evidente lo poco que varió el resultado cartográfico original luego de superponer en el mismo las estimaciones de isosistas que para el mismo generó el USGS. Destaca en este sentido que, incluso en las zonas del país que resultaron más afectadas por este devastador último gran terremoto, es posible identificar eventos sísmicos previos y que llegaron a generar en el pasado por lo menos similares niveles de intensidad sísmica y que para los casos de Caracas y La Guaira, estuvieron representados por terremotos como los de 1812 y de 1900 y que según los autores aquí estudiados

pudieran haber generado intensidades cercanas a IX en escala MMI.

Este hallazgo sugiere el uso que pudiera tener este mapa como un indicador del "peor escenario" de intensidad sísmica que pudiera identificarse en cada punto del territorio, producto de indicar que un evento previo similar ya se registró en el pasado, y ello pudiera complementar los esfuerzos que deben seguirse haciendo para reducir el riesgo sísmico en aquellas zonas que a futuro seguirán experimentando próximos terremotos.

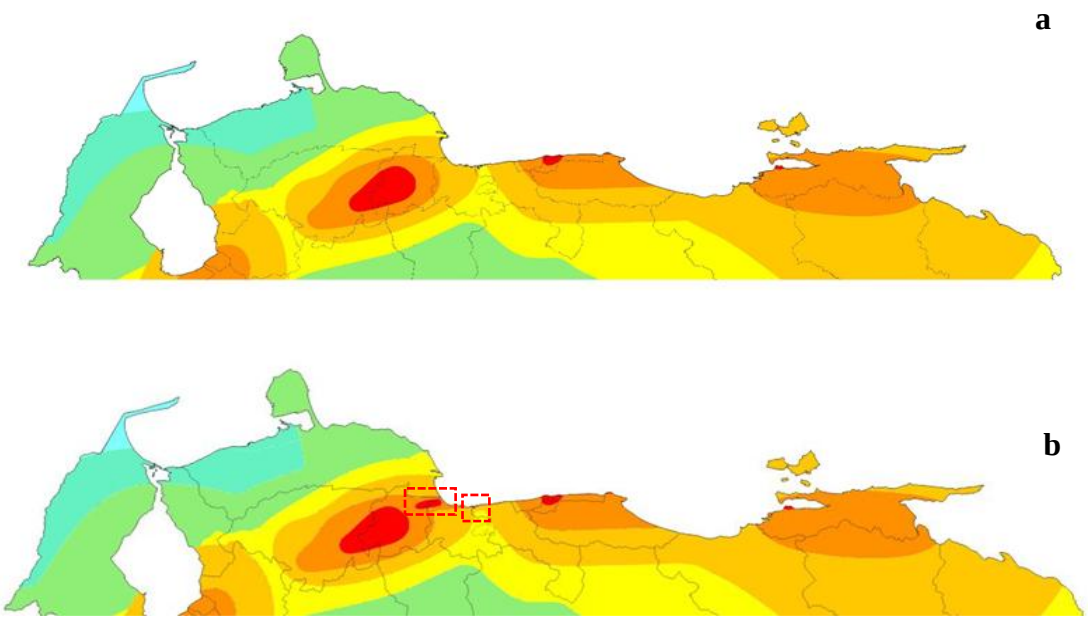


***Figura 20**. Antes (a) y después (b) del evento sísmico del 24 de junio de 2026.*

4. Conclusiones

El estudio permitió desarrollar una primera representación cartográfica integrada de las máximas intensidades sísmicas estimadas que han sido registradas en Venezuela durante el período 1530-2026, a partir de la recopilación, homologación, georreferenciación y digitalización de mapas de isosistas correspondientes a los principales terremotos históricos del país. El resultado constituye un aporte relevante porque integra, bajo una misma lógica espacial, información que hasta ahora se encontraba dispersa en estudios, publicaciones y fuentes de naturaleza diversa. El mapa obtenido divide el territorio nacional en ocho sectores caracterizados por intensidades máximas estimadas que oscilan entre III y X grados de la Escala de Mercalli Modificada (MMI), y permiten visualizar de manera conjunta la severidad de las sacudidas sísmicas máximas que históricamente han afectado distintas regiones del país.

Los hallazgos muestran una marcada concentración de las mayores intensidades históricas en el arco montañoso andino-costero, particularmente en sectores de Mérida, Lara, Yaracuy, Carabobo, Distrito Capital, La Guaira y Sucre, donde se han documentado intensidades máximas entre IX y X MMI. Esta distribución presenta una importante correspondencia espacial con las zonas donde se concentra la actividad tectónica y con el patrón general representado por los mapas nacionales de amenaza sísmica que ha sido elaborado por la FUNVISIS.

Estos resultados demuestran asimismo el valor de la sismología histórica como fuente complementaria para comprender el comportamiento territorial de la amenaza sísmica. La reconstrucción de los efectos de terremotos ocurridos durante casi cinco siglos permite reconocer que numerosos territorios venezolanos ya han experimentado en el pasado niveles de sacudida de gran severidad. En este sentido, se destaca que el mapa desarrollado como producto de esta investigación esencialmente permite representar las máximas intensidades sísmicas que, según la evidencia histórica y estudios seleccionados disponibles, ha llegado a manifestarse en cada punto del territorio. Su principal utilidad radica en el aporte que pudiera brindar a los estudios sismológicos y a la definición de escenarios de referencia que pudieran servir para la sensibilización de autoridades, especialistas y comunidades acerca de los niveles máximos de sacudida que históricamente han sido estimados en sus respectivos entornos.

Este trabajo sugiere las bondades que pueden brindar las tecnologías de Información Geográfica a la hora de convertirse en herramientas para rescatar y poner en valor información histórica de grandes desastres del pasado y que originalmente fue producida en formatos cartográficos heterogéneos. Estas

herramientas demuestran la forma como se puede satisfacer la necesidad de georreferenciar mapas antiguos, resolver problemas de legibilidad y ausencia de coordenadas, digitalizar las isosistas y posteriormente superponerlas bajo criterios homogéneos, y ello evidencia tanto el potencial como la complejidad de integrar fuentes históricas de distinta naturaleza.

Finalmente, los resultados ponen de manifiesto la necesidad de continuar fortaleciendo la documentación, actualización y socialización de la memoria sísmica de Venezuela. Las limitaciones propias de la información preinstrumental, derivadas de la desigual disponibilidad de fuentes, la subjetividad de algunos relatos, los efectos de sitio, los errores cronológicos y la diferente calidad de los estudios históricos, hacen necesario que este producto sea considerado una primera aproximación susceptible de ser perfeccionada mediante la incorporación de nuevos estudios paleosismológicos, históricos e instrumentales. En este sentido, el mapa propuesto debe concebirse como un primer aporte que sin duda podrá enriquecerse con nuevos eventos, mejores estimaciones de intensidad y futuras investigaciones y con ello convertirse en un recurso capaz de complementar el conocimiento científico existente y, simultáneamente, traducir casi cinco siglos de memoria sísmica en una herramienta comprensible para apoyar la planificación, la preparación y la reducción del riesgo de desastres por terremotos en Venezuela.

5. Agradecimientos: queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Ingeniero Geólogo Reina Aranguren, investigadora del Laboratorio de Geofísica de la ULA, quien colaboró en el suministro de información sobre la base de datos de sismos acontecidos en Venezuela y en la revisión del Mapa final. También a Michael Schmitz, Franck Audemard (Profesores UCV) y Raúl Estévez (Profesor ULA), especialistas en tectónica y sismología, por sus valiosos aportes en la revisión del Mapa obtenido y que sin duda mejoraron la versión final de este producto.

5. Referencias

ALTEZ R. 2005. Los sismos del 26 de marzo de 1812 en Venezuela: nuevos aportes y evidencias sobre estos eventos. Boletín técnico *Instituto de Materiales y Modelos Estructural*, 43(2): 1-15. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://saber.ucv.ve/bitstream/10872/23357/1/Altez%20Bolet%C3%ADn%20del%20IMME.pdf

ALTEZ R. 2010. *Si la naturaleza se opone… Terremotos, historia y sociedad en Venezuela.* Caracas: Ed Alfa, 319 pp.

ALTEZ R., GRACES J. y LUGO M. 1999. Catálogo de sismos destructores o sentidos 1530-1998. Academia Venezolana de Ciencias Físicas y Matemáticas. Caracas. Ed. ACFIMAN

AUDEMARD F. 1998. Contribución de la paleosismología a la sismicidad histórica: los terremotos de 1610 y 1894 en los andes venezolanos meridionales. *Revista Geográfica Venezolana*, 39: 87-105. https://www.researchgate.net/profile/Franck-Audemard/publication/310167274_Contribucion_de_la_paleosismologia_a_la_sismicidad_historica_los_terremotos_de_1610_y_de_1894_en_los_Andes_venezolanos_meridionales/links/585084c808ae4bc8993b6e32/Contribucion-de-la-paleosismologia-a-la-sismicidad-historica-los-terremotos-de-1610-y-de-1894-en-los-Andes-venezolanos-meridionales.pdf

AUDEMARD F. 2007. Revised seismic history of the El Pilar fault, Northeastern Venezuela, from the Cariaco 1997 earthquake and recent preliminary paleoseismic results. *J Seismol*, 11: 311-326. https://link.springer.com/article/10.1007/s10950-007-9054-2

CERESIS. 1985. *Mapa de intensidades máximas de América del Sur. Proyecto SISRA.* https://www.ceresis.org/descargas/mapas-sisra/mapa-de-intensidades-maximas-sisra.jpg

CIGIR (2026). *Descripción del terremoto de 7.5 Mw ocurrido el 24 de junio del 2026*. https://cigir.group/terremotos-venezuela/

COLÓN S., F. AUDEMARD, C. BECK, J. AVILA, C. PADRÓN, M. DE BATIST, M. PAOLINI. A. LEAL y A. VAN WELDEN. 2015. The 1900 Mw 7.6 earthquake offshore north-central Venezuela: Is La Tortuga or San Sebastián the source fault? *Marine and petroleum geology*, 67: 498-511. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264817215300131

FERRER C., LAFAILLE J., RENGIFO M., 1998. 1ras Jornadas de Sismicidad Histórica de Venezuela. Revista Geográfica Venezolana – Numero Especial. Vol 39. Universidad de Los Andes. Mérida

FUNVISIS. 1994. *Estudio Neotectónico y de Geología de Fallas Activas de la Región Nororiental de Venezuela*: Caracas: Proyecto INTEVEP, 92–175 pp. Informe inédito.

FUNVISIS. 2014. *Mapa de Zonificación Sísmica con fines de ingeniería de Venezuela.* http://www.funvisis.gob.ve/old/archivos/mapas/norma1756_2001.png

FUNVISIS. 2023. *Atlas sismológico de Venezuela*. Caracas: Fundación venezolana de Investigaciones Sismológicas, 197 pp. http://www.funvisis.gob.ve/atlas_sis.php

FUNVISIS. 2024. *414 años del Terremoto de San Blas*. http://www.funvisis.gob.ve/old/noticia.php?id=2654

FUNVISIS. 2026. *151 años del Terremoto de Cúcuta*. http://www.funvisis.gob.ve/noticia.php?id=2899

GRASES J. 1990. *Terremotos destructores del Caribe, 1502-1990*. Caracas: UNESCO-RELACIS, 132 pp. https://es.scribd.com/doc/139621173/1990-Terremotos-Destructores-Del-Caribe-GRASES

GRASES J. 2006. El terremoto del 21 de octubre de 1766. Inicio de la sismicidad histórica en Venezuela. *Boletín Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, LXVI (1-2): 15-44. https://acfiman.org/boletines_articulos/el-terremoto-del-21-de-octubre-de-1766-inicio-de-la-sismicidad-historica-en-venezuela/

KINGLAND. J., R. TORRES, y P. IGLESSIS. 2008. Ecuación de atenuación de intensidad macrosísmica y mapa de isosistas para el gran terremoto de los andes de 1894. Boletín *Instituto de Materiales y Modelos Estructurales*, 46(1). https://www.researchgate.net/publication/262707758_Ecuacion_de_atenuacion_de_intensidad_macrosismica_y_mapa

_de_isosistas_para_el_gran_terremoto_de_los_andes_de_1894

LIÑAYO A. 2017., An Experience Designing a National Research Agenda on Disasters Risk Reduction. Artículo del libro "Climate events and disaster mitigation: From policy to practice". ISBN: 978-9387057272. Center for Science & Technology NAN - New Delhi (India).

LIÑAYO A. 2016., Una experiencia en el diseño de una agenda nacional de investigación aplicada a la reducción del riesgo de desastres. Revista Proyección 20 - Aug 9, 2016 - Universidad del Cuyo – Argentina.

LIRA L. 2008. *Estimación de un escenario de daños por terremotos en la parroquia Domingo Peña, del municipio Libertador de la ciudad de Mérida*. Mérida: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Tesis de pregrado. 126 pp. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://bdigital.ula.ve/storage/pdftesis/pregrado/tde_arquivos/7/TDE-2010-05-05T04:39:10Z-860/Publico/LiraLuisIparte.pdf

LÓPEZ O. 2026. Notas sobre el Terremoto del 24 de junio de 2026. *En editorial del Boletín Nº 71 de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Habitad.* 71: 9-14. https://acading.org.ve/publicaciones/ojs/index.php/banih/article/view/108

PÉREZ J. 2022. Análisis de la intensidad sísmica máxima mediante la teoría de valores extremos. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 22(1): 72-78. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/14458/11793

RODRÍGUEZ. J. y F. AUDEMARD. 2003. Sobreestimaciones y limitaciones en los estudios de sismicidad histórica con base en casos venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*, 44(1): 47-75. http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/regeoven/article/view/12388/0

RODRÍGUEZ. L., H. DIEDERIX, E. TORRES, F. AUDEMARD, C. HERNÁNDEZ, A. SINGER, O. BOHÓRQUEZ y S. YEPEZ. 2017. Identification of the seismogenic source of the 1875 Cucuta earthquake on the basis of a combination of neotectonic, paleoseismologic and historic seismicity studies. *Journal of South American Earth Sciences*, XXX: 1-18. https://www.researchgate.net/publication/320348325_Identification_of_the_seismogenic_source_of_the_1875_Cucuta_earthquake_on_the_basis_of_a_combination_of_neotectonic_paleoseismologic_and_historic_seismicity_studies

RODRÍGUEZ J. 2026. *Boletín informativo semanal. Plan Venezuela Renace*. *https://www.instagram.com/p/Db34DK6OerO/?igsh=bjIzbzczd2N3dGg=*

RODRIGUEZ J. (s/f). *Breve historia de la sismología en Venezuela*. Fundación venezolana de Investigaciones Sismológicas. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.funvisis.gob.ve/old/archivos/www/tecnica/docs/historia_sismologia.pdf

PALME. C. y R. ALTEZ. 2002. Los terremotos de 1673 y 1674 en los Andes venezolanos. *Interciencia, Revista de Ciencia y Tecnología de América*, 27(5): 220-226. https://www.researchgate.net/publication/262478084_Los_terremotos_de_1673_y_1674_en_los_andes_Venezolanos

SCHMITZ M. 2026. Terremoto de La Guaira 24 de junio 2026 - importantes efectos de sitio. *En editorial del Boletín Nº 71 de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Habitad.* 71: 9-14. https://acading.org.ve/publicaciones/ojs/index.php/banih/article/view/108

SINGER A. 2012. *Introducción a las amenazas naturales. Evaluación de la amenaza sísmica*. Caracas: Fundación venezolana de Investigaciones Sismológicas, 37 pp.

USGS. 2026a. *Mapa interactivo del sismo de 6,3 Mw ocurrido el 25 de septiembre de 2025*. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/pt25268000/map

USGS. 2026b. *Mapa interactivo del sismo de 7,5 Mw ocurrido el 24 de junio de 2026*. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/map

USGS. 2026c. *Escala de Intensidad de Mercalli Modificada*. https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale

Worden et al. (2012). Probabilistic Relationships between Ground-Motion Parameters and Modified Mercalli Intensity in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(1): 204–221. https://www.researchgate.net/publication/258611112_Probabilistic_Relationships_between_Ground-Motion_Parameters_and_Modified_Mercalli_Intensity_in_California

.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/171
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 114 – 124

ASPECTOS CONCEPTUALES DE VARIOS MECANISMOS FOCALES Y SUS EFECTOS EN LOS SISMOS Y OBRAS DE INGENIERÍA

Heriberto ECHEZURÍA[1]

RESUMEN

El presente ensayo técnico analiza cómo los mecanismos en la fuente de fallas tectónicas determinan la naturaleza de las ondas generadas y la complejidad de los registros de aceleración o velocidad. Por una parte, la sismología moderna demuestra que la ruptura de una falla no es siempre única u homogénea, sino que puede tener un proceso secuencial o escalonado controlado por las asperezas, la resistencia friccional de la roca y la expansión del área, lo cual explica acelerogramas con más de una secuencia de ondas de corte. Eso es típico para velocidades de ruptura en fuente menores que la velocidad de las ondas cortantes. Así, la falla sufre desplazamientos escalonados al vencer zonas de alta resistencia y genera sismogramas extendidos en el tiempo, caracterizados por crestas superpuestas y ondas de parada (*stopping phases*) de alta frecuencia. Por otra parte, la ruptura puede alcanzar un régimen supersónico (o *super-shear)*, cuando su velocidad supera a las de las ondas cortantes, definiendo una zona mecánicamente prohibida entre esa última velocidad y la de las ondas Rayleigh. Eso genera un colapso del flujo de energía y la ruptura, para salir de esa zona, crea microfracturas secundarias impulsadas por las ondas de compresión. Al superarse la velocidad de corte, las ondas elásticas quedan atrapadas en un frente de Mach (cono sónico) que comprime el tiempo de viaje generando superposición de las ondas cortantes, lo cual descarga un pulso de alta velocidad del suelo muy destructivo al impactar la superficie.

ABSTRACT

Conceptual aspects of various focal mechanisms and their effects on earthquakes and engineering works

This technical essay analyzes how fault-source mechanisms determine the nature of generated waves and the complexity of acceleration or velocity records. On one hand, modern seismology demonstrates that fault rupture is not always singular or homogeneous; instead, it may involve a sequential or stepped process governed by asperities, rock frictional resistance, and area expansion—explaining accelerograms that exhibit multiple shear-wave sequences. This pattern is typical of source rupture velocities lower than the shear-wave speed. Consequently, the fault undergoes stepped displacements as it overcomes high-resistance zones, producing time-extended seismograms characterized by superimposed peaks and high-frequency stopping phases. On the other hand, the rupture may reach a supersonic (or super-shear) regime when its speed exceeds that of shear waves, defining a mechanically forbidden zone between the shear-wave speed and the Rayleigh-wave speed. This leads to a collapse of energy flow; to exit this zone, the rupture generates secondary micro-fractures driven by compression waves. Once the shear-wave speed is surpassed, elastic waves become trapped within a Mach front (sonic cone) that compresses travel time and causes shear-wave superposition, ultimately releasing a highly destructive, high-velocity ground-motion pulse upon impact with the surface.

Palabras clave: Mecanismo de fuente, ruptura secuencial, asperezas y barreras, velocidad supersónica (super-shear), frente de machpulso sísmico.
Keywords: Source mechanism, sequential rupture, asperities and barriers, super-shear speed, mach front, seismic pulse.

Introducción

Los mecanismos en la fuente influyen de manera muy importante tanto en las amplitudes de las distintas ondas generadas durante la ruptura, como en la forma de los acelerogramas medidos a distintas distancias de la falla. Algunas de las variables involucradas en el proceso son, por una parte, los esfuerzos sobre la roca ubicada en la superficie del plano de ruptura, su módulo cortante, y el número de asperezas en la superficie del plano, pues estas determinan la distancia o salto que se desplazará la ruptura al vencer cada una de dichas asperezas. Adicionalmente, se debe considerar el área de ruptura asociado con cada punto de aspereza, el salto secuencial causado por el vencimiento de la resistencia de dichas asperezas y la velocidad de desplazamiento de cada ruptura junto, además del desplazamiento antes de frenar el movimiento.

[1] Profesor Titular, UCAB, Caracas, Venezuela. Correo-e: hechezur@ucab.edu.ve

Por otra parte, la velocidad de la ruptura V_r influye significativamente en la energía que pueden transmitir las ondas en el campo cercano a la fuente. Esta velocidad está íntimamente relacionada con la velocidad de las ondas de corte V_S , la velocidad de las ondas Rayleigh V_R y la velocidad de las ondas primarias o de compresión V_P. Cuando los esfuerzos que desequilibran la falla son muy altos, se genera un proceso muy complejo de rotura que finalmente hace que la V_r supere la V_S, y se produzca la superposición de las ondas de corte, lo cual genera un pulso de alta energía muy destructivo.

En este ensayo se describen esos dos procesos, con $V_r < V_S$ así como con $V_r > V_S$, y se indica su efecto tanto en las ondas como en los acelerogramas y registros de velocidad en diferentes sitios a distintas distancias de la falla.

Descripción del proceso de ruptura de las fallas para el caso de $V_r < V_S$.

En la literatura existe abundante información sobre la mecánica de fractura cuando la velocidad de ruptura es menor que la velocidad de las ondas de corte V_S (Aki, 1979; Kanamori, 1978; Dieterich, 1979). Similarmente, para esta condición, esos autores demuestran que la ruptura de una falla no es siempre un evento único y homogéneo, sino que puede ser un proceso secuencial y multifásico.

El proceso de ruptura se explica mediante la combinación de tres variables fundamentales: las asperezas (zonas con mayor concentración de esfuerzos), la resistencia friccional de la roca en los puntos de contacto (que varía según leyes de velocidad y estado de fracturamiento de la misma), y el incremento del área de ruptura de acuerdo con la cinemática de propagación del frente (Aki, 1979; Kanamori & Stewart, 1978; Dieterich, 1979). A continuación, se explicará brevemente, cómo interactúan estas variables y cómo justifican que el desplazamiento o "salto" de una falla pueda suceder en etapas, considerando rupturas complejas mediante un efecto de cascada.

Un modelo comúnmente muy empleado para ese análisis es el de Asperezas y Barreras (Aki, 1979; Kanamori & Stewart, 1978) en el cual, el plano de una falla se modela bajo dos conceptos claves que interactúan directamente con las variables mencionadas. Por una parte, en dicho modelo se establece que el plano de falla contiene zonas de alta resistencia y alta concentración de esfuerzos mecánicos.

Así, la ruptura es, inicialmente, nucleada en una aspereza principal que, al romperse la roca allí presente, la fractura se propaga liberando la energía retenida en dicha aspereza. Luego de esa ruptura inicial, sucede algo similar en las otras asperezas, lo cual hace que la energía totalmente liberada sea la suma de todas las ocurridas en cada una de las asperezas.

Por otra parte, en el modelo de Asperezas y Barreras, las regiones con alta resistencia local, o con geometría compleja, actúan frenando o deteniendo temporal o definitivamente el frente de ruptura. La interacción de las tres variables, antes citadas, se presenta en combinaciones claves en las cuales, la forma secuencial de la ruptura depende estrictamente de cómo se combinan las mismas en el plano tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Combinación de las variables que influyen en el comportamiento del frente de ruptura dinámica durante el desplazamiento de una falla (Aki, 1979; Kanamori & Stewart, 1978; Dieterich, 1979).

Alta Esfuerzo / Alta Resistencia / Área pequeña	**Nucleación.** El esfuerzo supera la resistencia estática inicial en un punto crítico.	**Etapa 1: Micro-desplazamiento.** Deslizamiento localizado pre-sísmico o nucleación lenta.
Alto Esfuerzo / Baja Resistencia (Dinámica) / Área Creciente	**Propagación desbocada.** La roca experimenta ablandamiento por fricción (*slip-weakening*).	**Etapa 2: Salto Principal.** Avance veloz del frente (sub-Rayleigh o supershear) generando el sismo mayor.
Bajo Esfuerzo / Alta Resistencia / Barrera Geométrica	**Desaceleración o Parada.** El incremento del área se detiene al chocar con una barrera (e.g., un cambio de dirección o roca muy dura).	**Etapa 3: Estancamiento temporal.** El desplazamiento se frena bruscamente emitiendo fases de parada (*stopping phases*).
Transferencia de Esfuerzos / Resistencia Crítica / Salto de Segmento	**Activación en cascada.** El incremento del área se reanuda en un parche adyacente debido a la transferencia de esfuerzo estático/dinámico.	**Etapa 4: Segundo Salto.** Desplazamiento tardío (en milisegundos o segundos) en otra sección de la falla.

Cuando el frente de ruptura encuentra una barrera o una aspereza geométrica compleja, el desplazamiento local puede estancarse temporal o definitivamente en una misma área. No obstante, es oportuno destacar que también se puede dar el caso en que las rupturas ocurran en sitios distintos de la falla separados por intervalos de tiempo cortos.

Un proceso de ruptura escalonado se visualiza en el diagrama incluido en la Figura 1. Como se aprecia en la Figura 1, el desplazamiento final acumulado de la falla es la suma matemática de los pulsos sucesivos. Si la ruptura no fuese escalonada, se tendría solamente un salto único de la falla.

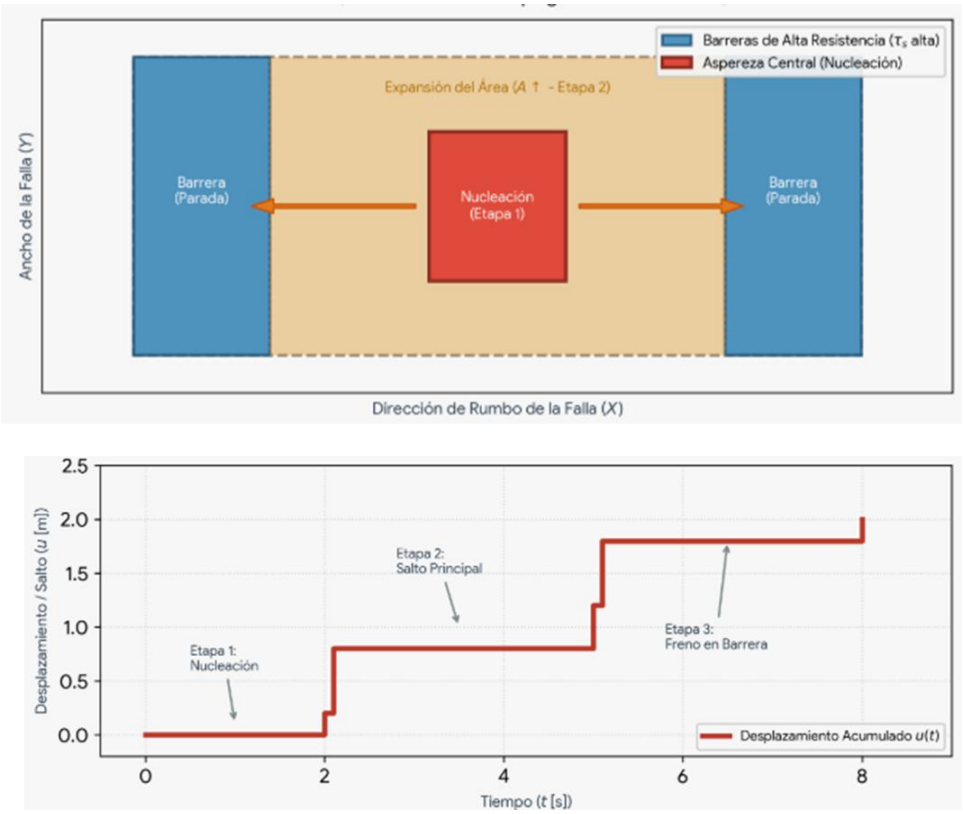


Figura 1 *Diagrama mostrando la interacción de las tres variables claves que controlan el movimiento de la falla en una ruptura múltiple o escalonada sobre un plano de falla, Etapa 1: Nucleación en zonas con concentración de esfuerzos, Etapa 2: Salto principal cuando se vence la resistencia friccional de la roca en los puntos de contacto principales y ocurre el deslizamiento y Etapa 3: Incremento del área de ruptura hasta alcanzar una barrera.*

El proceso escalonado se da cuando el esfuerzo dinámico transferido logra romper la barrera o aspereza geométrica compleja, en cuyo caso, la falla continúa moviéndose, generando un desplazamiento múltiple. Por esa razón, algunos acelerogramas o sismogramas pueden mostrar trenes o grupos de aceleraciones o velocidades en el tiempo, lo cual indica que rompieron zonas secuenciales en la misma zona. Un ejemplo de esta situación se ilustra en la Figura 2, para el sismo Big Bear.

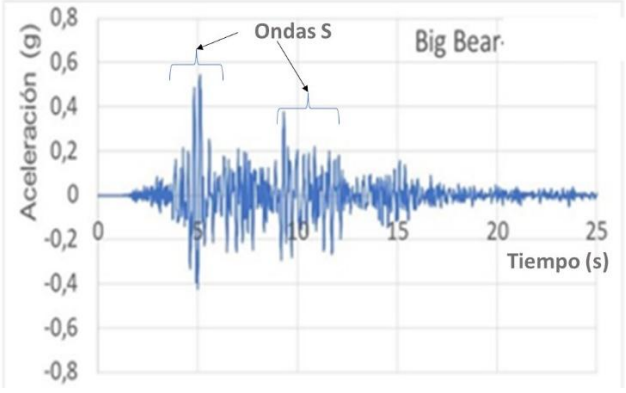


Figura 2 *Acelerograma en afloramiento rocoso del sismo Big Bear. Se aprecia claramente el arribo de dos trenes o grupos de ondas secundarias señalados en la figura.*

En relación con las frecuencias de las ondas generadas, es oportuno destacar que, mientras para las bajas frecuencias las amplitudes dependen del momento sísmico y del área total movilizada, para las altas frecuencias, las amplitudes son controladas por la resistencia local de la roca y lo abrupto que resulte el salto. En consecuencia, si una falla tiene zonas de alta resistencia en la roca, al vencer la fricción, el "salto" es sumamente violento (caída de esfuerzo elevada) a períodos cortos. En este caso, se irradian ondas sísmicas con amplitudes de aceleración extremadamente altas.

Otro proceso importante sucede si el frente de ruptura se detiene bruscamente ante una barrera (alta resistencia). En este caso, se genera una onda de parada (*stopping phase*) que se identifica en los registros como un pico de amplitud muy agudo y de alta frecuencia, período corto. Este último caso no está incluido en el presente ensayo, el cual se circunscribe solamente a los saltos secuenciales y la generación de pulsos de alta energía, cuando la velocidad de ruptura supera a la velocidad de las ondas de corte.

La interpretación conceptual de los procesos con salto único y escalonado, se ilustra en la Figura 3 para registros de velocidades y/o desplazamientos del terreno obtenidos en un sitio alejado de la falla. Se observa en la Figura 3 que, en el caso de salto único de la falla ocurre un solo tren de ondas, mientras que, para el caso de ruptura secuencial, cada sub-ruptura aporta su propia amplitud de onda proporcional a su salto local y su rigidez, provocando sismogramas más complejos y extendidos en el tiempo.

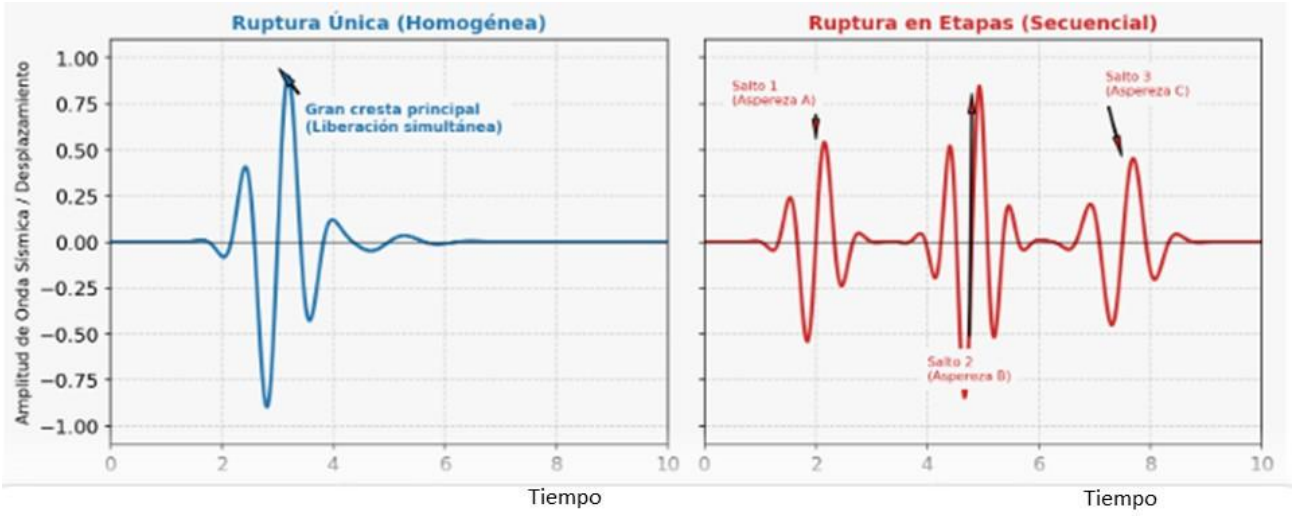


Figura 3 *Esquema de la diferencia en las amplitudes de registros causados por una ruptura única (izquierda) y una secuencial (derecha).*

Por otra parte, es importante destacar que, el incremento del área de ruptura A suele verse limitado verticalmente por el espesor de la parte frágil de la corteza. Eso hace que, a partir de esa zona límite, la falla solo pueda expandirse a lo largo del rumbo una longitud, L.

La correlación entre el área de ruptura, el salto y la rigidez de la roca es el momento sísmico, M_0, que fue formulado originalmente por Aki (1966) y se muestra en la ecuación (1).

$$M_0 = \mu\, A\, u \qquad \text{ecuación (1)}$$

Donde, μ es el módulo cortante de la roca, A es el área de la ruptura y u es el salto promedio durante la ruptura.

Descripción de la velocidad de ruptura considerando las asperezas

Es posible estimar la velocidad de ruptura de la falla V_r a partir de los parámetros dinámicos previamente indicados (caída de esfuerzos, energía de fractura y dimensiones de las asperezas) (Aki, 1966, 1979, Aki & Richards, 2002; Kagan, 2003, Meier, Ampuero & Heimpel,2019; Scholz, 2019, Yue & otros 2014). En la física de la fuente sísmica, la velocidad de ruptura no es arbitraria; sino que está íntimamente relacionada con la velocidad de las ondas de corte V_S del medio circundante y con la velocidad de las ondas Rayleigh V_R, como se verá a continuación.

La velocidad a la que se propaga el frente de ruptura se puede abordar desde una perspectiva cinemática (basada en el tiempo de la fuente) o desde una perspectiva dinámica (basada en la energía del ablandamiento de la roca). Para aplicar la primera, es necesario conocer el tiempo total de duración del pulso en cada etapa o aspereza T_r, además de la longitud de la aspereza, o distancia característica, L. La velocidad promedio se estima mediante la geometría del frente de expansión (asumiendo un modelo circular o unidimensional), a saber:

$$V_r \approx L \,/\, T_r \qquad \text{ecuación 2}$$

Este procedimiento es, generalmente, poco aplicable por limitaciones en el conocimiento a priori de las variables incluidas, que son difíciles de estimar.

Por otra parte, considerando la mecánica de fractura elastodinámica, Freund (1972) y Kostrov (1964) demostraron que la velocidad de ruptura depende del balance entre la energía elástica disponible G_0 y la energía requerida para vencer la resistencia de la roca o energía de fractura, G_c:

$$V_r = V_R\,(1 - (G_C \,/\, G_0)) \qquad \text{ecuación (3)}$$

En dicha ecuación, V_R es la Velocidad de las ondas Rayleigh $\approx 0.92\, V_S$.

La Energía de fractura, G_c representa el área bajo la curva de la ley de *slip-weakening* ilustrada en la Figura 4:

$$G_C = 0{,}5\,[(\tau_S - \tau_d)\, D_C] \qquad \text{ecuación (4).}$$

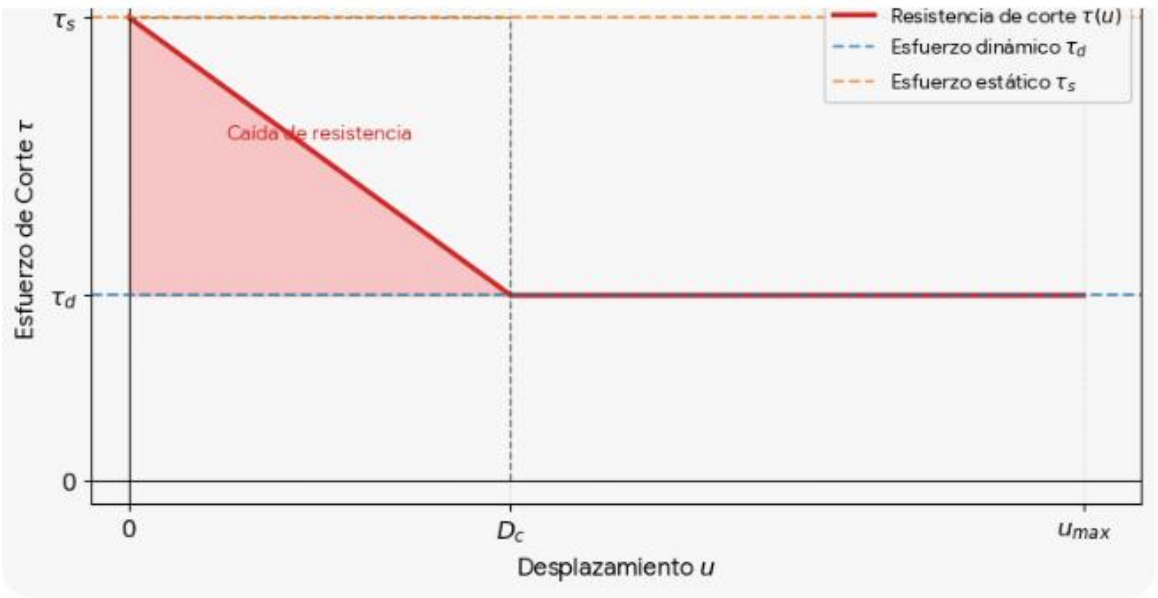


Figura 4 *Diagrama esquemático de la caída de esfuerzos cortantes en la zona debilitada de una aspereza al movilizar la falla.*

Este concepto de *slip-weakening* aplica tanto al salto único como a los saltos escalonados de una falla y describe el proceso desde el rompimiento hasta el momento de freno de barrera antes mencionado. El mismo se modela matemáticamente mediante la ley de ablandamiento por desplazamiento (*slip-weakening law*) (Ida, 1972); Palmer & Rice, 1973; Sibson, 1985).

Esta última ley describe cómo la resistencia friccional de la roca τ_f cae exponencialmente o linealmente a medida que el desplazamiento de la falla u aumenta en el punto de contacto. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\tau_f(u) = \begin{cases} \tau_S - (\tau_S - \tau_d)\,(u\ / D_C) & si\ u < D_C \\ \tau_d & si\ u \geq D_C \end{cases} \qquad \text{ecuación (5)}$$

En la misma: τ_s es la resistencia friccional estática, o sea, el límite máximo de corte que la roca soporta antes de romperse en la aspereza; τ_d es la resistencia friccional dinámica, es decir, la resistencia residual de la roca mientras se desliza (cuando el calor o la pulverización lubrican la falla), u es el desplazamiento de la falla; D_C es la distancia crítica de ablandamiento (es decir, el desplazamiento a lo largo del cual la falla pierde su resistencia estática).

Si una falla tiene un D_C muy pequeño, la caída de resistencia es abrupta, provocando un salto violento y veloz (inestabilidad). Contrariamente, si el D_C es grande, el área de ruptura se incrementa de forma lenta y controlada, lo cual se conoce como desplazamiento episódico o transitorio. Estos parámetros se muestran en el diagrama esquemático de la Figura 4.

Para ilustrar estos conceptos de forma cuantitativa, se presenta un ejemplo numérico empleando la correlación entre la amplitud de una onda sísmica registrada en el campo lejano, la cual es proporcional a la tasa de liberación del momento en la fuente. A tal efecto, se comparan dos escenarios, el primero asumiendo un salto único y, el segundo, con ruptura secuencial.

En este ejemplo, se calculó el momento sísmico, M_0, y la magnitud de momento, M_w:

$$M_w = [log_{10}\ M_0\ / 1{,}5] - 10{,}7 \qquad \text{ecuación (6)}$$

para dos escenarios sobre un mismo plano de falla con la misma magnitud de momento: Escenario A (ruptura única u homogénea), en el que toda la falla se desliza uniformemente en un solo salto y, Escenario B (ruptura secuencial en etapas). En el escenario B se considera también que, la falla se rompe secuencialmente en 3 etapas discretas (3 sub-eventos o asperezas) con distintas áreas, niveles de salto y caídas de esfuerzo locales. Para los cálculos se utilizaron los siguientes parámetros:

Escenario A:

Área total de la ruptura de la falla (400 km²)

Salto único = 1,5 m

Módulo cortante de la roca = 32 GPa

Escenario B:

Etapa 1 (Nucleación / Alta resistencia): Área ruptura: 50 km², salto: 0,8 m, tiempo inicio: 0 s

Etapa 2 (Salto Principal / Gran área): Área ruptura: 200 km², salto: 2,0 m, tiempo inicio: 3 s

Etapa 3 (reajuste): Área ruptura: 100 km², salto: 0.5 m, tiempo inicio: 7 s

Los resultados son los siguientes:

Ruptura Única (Escenario A): M_0 = 1.92 x 10^{19} Nm; M_w = 6.79

Ruptura en Etapas (Escenario B): momento sísmico total M_0= 1.79 x 10^{19} Nm (se considera el área del salto principal por superposición, pero incluyendo el desplazamiento de la nucleación, es decir 2,8 m) y magnitud de momento M_w = 6.78.

Para cada salto del Escenario B se tiene lo siguiente: Etapa 1: 1.28 x 10^{18} Nm en; Etapa 2: 1.60 x 10^{19} Nm y Etapa 3: 1.60 x10^{18} Nm.

En este punto es importante destacar que para el momento sísmico total existe solapamiento de las áreas y no se pueden sumar directamente. Además, para poder sumar directamente los momentos parciales de los saltos M_{0i} es necesario que los mismos ocurran en condiciones ideales, completamente independientes y con geometría perfecta, lo cual no es siempre el caso.

Esa discrepancia entre la energía y el momento la explican algunos autores (Kagan, 2003); Meier, Ampuero & Heimpel, 2019; Scholz, 2019, Yue & otros, 2014) como una consecuencia de la naturaleza física, geométrica y tensorial de la forma en que se acumula y se mide la deformación en la corteza. Estas últimas variables establecen que, en realidad el momento sísmico es un tensor tridimensional (matriz de fuerzas) y no un escalar que puede sumarse directamente. Asimismo, esos autores indican que, el momento global M_0 refleja la deformación neta real final del bloque de la corteza, tomando en cuenta las ineficiencias geométricas, los solapamientos de las áreas involucradas y los cambios de dirección en el plano de ruptura.

Ahora bien, volviendo al ejemplo para vincular las características del sismo con la aceleración del terreno, la sismología moderna utiliza la Teoría de la Fuente Sísmica de Brune (1970) y el Método Estocástico de Boore (1983) y Boore (2003). Con ellos se logra el Espectro de Amplitud de la Aceleración en la Fuente (a_f) en el dominio de las frecuencias. La ecuación que describe ese proceso es la siguiente:

$$a_f = C\, M_0\, \{[(2\pi f)^2\ P(f)\, G(R)] / [1 + (f / f_C)^2]\}$$

ecuación (7)

En la cual $1 / [1 + (f / f_C)^2]$ es un filtro de atenuación en la fuente (Modelo w^2 de Brune, 1970) que evita que las frecuencias infinitas rompan la física del modelo

$P(f)\, G(R)$ son filtros de atenuación que consideran la distancia R y las condiciones locales de la roca,

$2\,\pi f^2$ es un operador matemático que transforma el desplazamiento físico de la falla en aceleración (es decir, la segunda derivada del desplazamiento en el tiempo que equivale a multiplicar por w^2 las frecuencias),

C viene dado por la expresión: $C = (R_{\theta\varphi}\, F\, V)/[\,4\,\pi\,\rho\, V_S^3]$, en la cual

$R_{\theta\varphi}$ es el patrón de radiación de la falla,

F es el efecto de superficie libre,

V es la partición de energía,

ρ es la densidad de masa de la roca y

V_S es la velocidad de las ondas de corte

Los cálculos con estas ecuaciones para obtener las aceleraciones del ejemplo manejado, fueron realizados con la ayuda de IA (Gemini) de acuerdo con los autores antes citados utilizando valores representativos de las variables importantes del proceso. La representación gráfica de las amplitudes de las aceleraciones para ambos casos se presenta en la Figura 5.

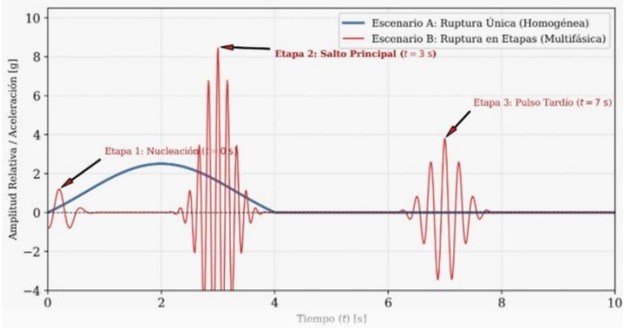


Figura 5 *Diferencias entre las amplitudes de aceleraciones expresadas en (g) con el tiempo transcurrido durante una ruptura única (homogénea) y otra secuencial para eventos con la misma magnitud de momento.*

Se observa que, de acuerdo con los cálculos y la Figura 5, a pesar de que ambos escenarios liberan casi la misma energía total y poseen magnitudes de momento globales casi idénticas (M_0~6.8), las amplitudes y distribución de aceleraciones en el tiempo son radicalmente distintas. Eso se debe a que, de acuerdo con la ecuación (7), la amplitud de la aceleración que registra un equipo en un afloramiento rocoso depende directamente de la tasa de liberación de momento sísmico en la falla M_0.

Para el caso del Escenario A (Ruptura Única u Homogénea - Línea Azul) en la Figura 5: Al deslizarse toda el área de la falla de manera uniforme, la amplitud de la onda sísmica se distribuye regularmente en el tiempo. La aceleración máxima del terreno es moderada porque la energía no se libera en pulsos concentrados, generando un registro simple con una sola fase principal.

Por otra parte, para el Escenario B (Ruptura Secuencial en Etapas - Línea Roja): El registro se descompone en tres trenes de ondas independientes. Cada etapa de ruptura actúa como una fuente sísmica individual, a saber:

A los 0 segundos (Etapa 1): Aparece un pulso precursor de baja amplitud correspondiente a la nucleación.

A los 3 segundos (Etapa 2): Al romperse la aspereza principal con un salto mayor, la amplitud y la aceleración se disparan drásticamente, alcanzando el pico máximo del sismo. Las ondas son de alta frecuencia y más destructivas.

A los 7 segundos (Etapa 3): Se registra una última réplica por

la fase de parada, aportando un tercer pico de amplitud moderada antes de que la falla vuelva al reposo.

Esto demuestra cuantitativamente que dos sismos con la misma magnitud de momento global M_w generarán aceleraciones locales diferentes, con las del caso por etapas mucho más severas y destructivas (Escenario B) que las de un pulso único (Escenario A).

Ahora bien, como se ha indicado antes, otra posible condición es que, sobre la misma falla, o sistemas de fallas continuos, se generen dos zonas de ruptura separadas que se rompan secuencialmente con intervalo de tiempo corto entre ambas. De esa manera se generarán dos sismos diferentes, tal como ocurrió el 24 de junio 2026 al norte de Venezuela, cuando se produjeron dos sismos en el sistema Boconó-San Sebastián. Este caso de rupturas separadas en la traza de la falla se analiza en la próxima sección, pero considerando, principalmente, el fenómeno relacionado con la velocidad de ruptura de la falla.

Descripción del proceso de ruptura para el caso de $V_r > V_S$.

Como se ha indicado, el día 24 de junio de 2026 ocurrieron dos eventos, separados por un intervalo de 39 segundos en el norte de Venezuela, sobre el sistema Boconó-San Sebastián, considerado transcurrente dextral. El primer evento, estuvo en el segmento Boconó, con magnitud de momento M_w=7,2; mientras que el segundo evento, fue localizado al este del primero, con magnitud de momento M_w=7,5.

De acuerdo con Safina (2026) es muy probable que, ese día se diera la condición de velocidad de ruptura mayor que la velocidad de las ondas de corte $V_r > V_S$. Esta condición fue sustentada con base en los análisis de las evidencias de los movimientos excesivos en la superficie del terreno captadas en cámara, además del hecho de que muchas edificaciones colapsaron al mismo tiempo. Eso permitió deducir que se generó un pulso de alta energía asociado con la superposición de las ondas de corte.

A continuación, se describe paso a paso el proceso requerido para lograr una velocidad de ruptura superior a la de las ondas de corte y la generación del pulso de alta energía de acuerdo con lo establecido por Aki & Richards (2002); Andrews (1976); Dunham & Archuleta (2005); Bhat& otros (2007):

Paso 1: El inicio convencional (Ruptura Sub-shear)

El terremoto comienza en el hipocentro. Al principio, la fractura se propaga de manera normal. La velocidad de ruptura V_r. es más lenta que la velocidad de las ondas de corte V_S., usualmente alrededor del 82% de V_S.. En este punto, las ondas sísmicas corren por delante de la grieta, dispersando la energía radialmente en todas direcciones.

Paso 2: Acumulación extrema de tensión (Stress)

A medida que la grieta avanza, si el plano de la falla tiene poca rugosidad y la roca es muy rígida, comienza una concentración geométrica de tensiones muy grande justo en la punta de la grieta (*crack tip*). En esas condiciones, la roca que está inmediatamente delante de la fractura está al límite de su resistencia elástica.

Paso 3: El "salto" de velocidad (Mecanismo de Burridge (1973), Andrews (1976)

Para esa condición de elevados esfuerzos en la punta de la grieta, físicamente la misma no puede acelerar gradualmente luego de alcanzar la velocidad de las ondas Rayleigh. Este aspecto es sumamente importante y, por ello, se explica en detalle más adelante en la sub-sección "*Análisis de las velocidades en las fracturas de las rocas sobre el plano de falla*". Entonces, cuando la ruptura alcanza la velocidad Rayleigh, ocurre un fenómeno de transferencia, en el cual, la alta tensión acumulada delante de la grieta principal crea una micro-ruptura secundaria por adelantado. Casi instantáneamente, la grieta principal alcanza y se fusiona con esta microgrieta. Al hacer esto, la ruptura "salta" la barrera física de la velocidad de la onda de corte V_S..

Paso 4: Estabilización en régimen Supersónico (Velocidad de Eshelby, 1969 y Atkinson & Eshelby, 1968)

Una vez que se cruza la barrera de V_S., los modelos de la física de fracturas demuestran que la ruptura se estabiliza rápidamente en una velocidad equivalente a

$$V_r \approx \sqrt[2]{2}\ V_s \qquad \text{ecuación (8)}$$

es decir, aproximadamente 1,4142 veces la velocidad de la onda S, así se define el parámetro f, que controla la velocidad para que la ruptura continúe propagándose sin desintegrarse, la cual es denominada velocidad de Eshelby:

$$f \approx 1{,}4142$$

A esta velocidad extrema, la falla se está fracturando más rápido de lo que la propia roca puede vibrar para transmitir la onda elástica.

Paso 5: Formación del Frente de Mach (El "Boom" Sísmico)

Como la punta de la grieta va dejando atrás a las ondas S que ella misma ha generado, estas ondas circulares no pueden dispersarse hacia adelante. De acuerdo con el principio de Huygens, referido por Burridge (1973) y Andrews (1976), las ondas generadas en cada milisegundo se alinean perfectamente en una tangente geométrica común. Las amplitudes de todas estas ondas se suman (interferencia constructiva o superposición), creando una pared de energía en forma de cuña o cono denominada "frente de Mach". La Figura 6 muestra un diagrama esquemático en planta de la trayectoria de las ondas circulares irradiadas desde la falla y la propagación del frente mach o *super shear*, incluyendo el ángulo mach.

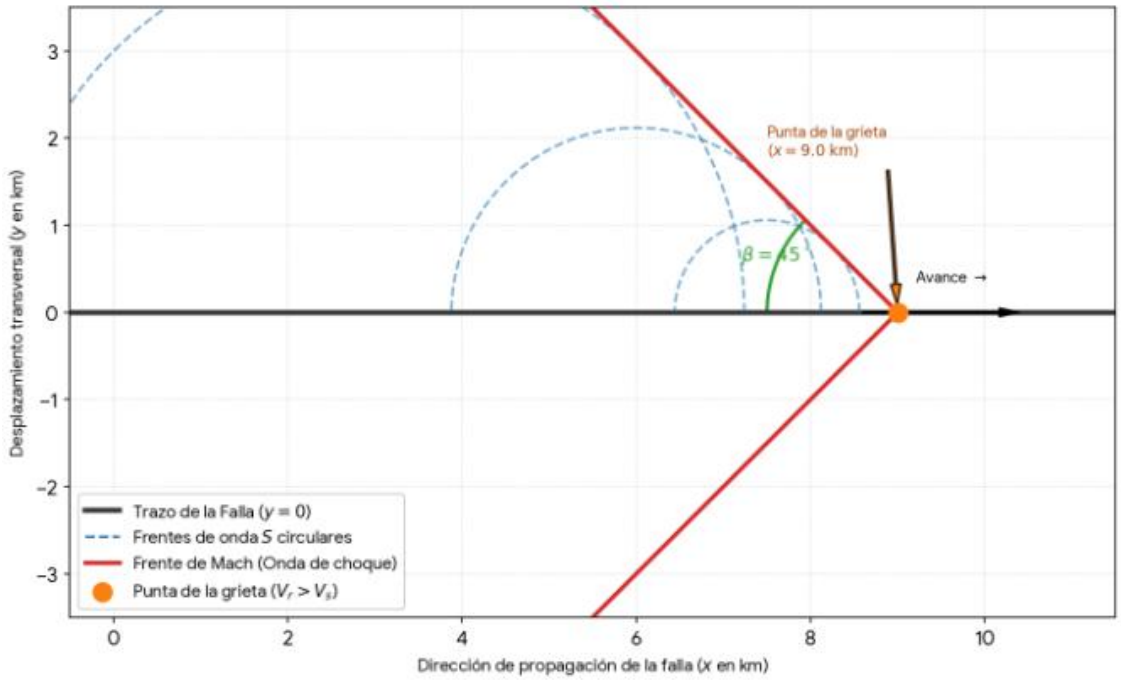


Figura 6 *Diagrama esquemático en planta de la trayectoria de las ondas circulares irradiadas desde la falla y la propagación del frente mach o super shear.*

Paso 6: El impacto del pulso de alta velocidad

Cuando este frente de mach viaja por la corteza, toda la roca fuera del cono permanece en calma. Pero en el momento exacto en que el frente golpea la superficie bien en un sismómetro o una edificación, toda la energía acumulada del terremoto llega en un solo instante comprimido, descargando un pulso de velocidad en el terreno que es excepcionalmente violento, agudo y destructivo.

Análisis de las velocidades en las fracturas de las rocas sobre el plano de falla

Considerando lo expresado en el punto 3 antes referido, se considera necesario explicar porque la velocidad de ruptura está limitada por las ondas Rayleigh si estas últimas son de superficie y las que debian controlar la fractura serían las de corte. Dicha razón es que, en la mecánica de fractura dinámica existe un concepto llamado "Flujo de Energía en la Punta de la Grieta" (*Crack Tip Energy Flux*), el cual se describe a continuación:

1. El plano de la falla funciona matemáticamente como una "superficie" por lo que, para un sismo generado a 10 km de profundidad, el plano de la falla en sí mismo es una discontinuidad elástica, es decir, representa una interfaz donde dos bloques entran en contacto y se deslizan. Físicamente, las ecuaciones matemáticas que gobiernan las ondas elásticas atrapadas estrictamente a lo largo de esa ranura bidimensional (la interfaz de la falla) son idénticas a las ecuaciones matemáticas de las ondas Rayleigh que viajan en la superficie libre de la Tierra. Por lo tanto, la física de la fractura no ve la falla como un medio tridimensional infinito, sino como una guía direccional donde se propagan "ondas de interfaz" acopladas.

2. Ocurrencia del colapso del Flujo de Energía (Energy Flux). Este colapso implica que la discontinuidad en las caras de la falla se fracturará hacia adelante. Por lo tanto, la roca circundante debe "alimentar" continuamente la punta de la fractura con energía elástica. Cuando la velocidad de la ruptura V_r empieza a acelerar y se acerca a la velocidad de las ondas Rayleigh V_R, ocurre una deformación de los campos de tensiones alrededor de la punta de la fractura, que incluye varios aspectos tales como:

- A medida que V_r se aproxima a V_R la energía elástica que el medio intenta enviar a la punta de la fractura se convierte progresivamente en ondas elásticas irradiadas que se escapan del frente. Pero al alcanzar la velocidad Rayleigh, las matemáticas de la elasticidad dinámica demuestran que el flujo de energía hacia la punta de la fractura se reduce exactamente a cero.

- Si se intenta forzar teóricamente que la ruptura viaje en la fractura a una velocidad ligeramente superior a la Rayleigh (por ejemplo, $0{,}95\,V_S$, el flujo de energía requerido para romper la interfase de la roca se vuelve negativo, lo cual es físicamente imposible ya que, la fractura tendría que "producir" energía de la nada para mantenerse. Por esta razón, la velocidad Rayleigh actúa como un muro infranqueable para una aceleración continua convencional de la ruptura.

3. ¿Por qué existe entonces la zona prohibida entre V_R y V_S?: De acuerdo con los modelos existentes, la solución matemática para una ruptura estable en dos dimensiones para valores de V_r entre la velocidad Rayleigh que es aproximadamente $0{,}92\ V_S$ y la velocidad de corte V_S, no es posible. Si una falla intentara operar en ese rango intermedio, las fuerzas en la punta de la fractura se volverían inestables e incoherentes. Es por esto que en sismología se denomina ese tramo como la "zona prohibida".

Entonces, ¿cómo se logra la velocidad *super-shear*? Para superar este límite a partir de velocidad Rayleigh y entrar en el régimen *super-shear* $V_r > V_S$, la fractura no puede simplemente acelerar de forma gradual (0,91... 0,92... 0,93 V_S. Entonces, se recurre al mecanismo de Burridge-Andrews, antes mencionado, de acuerdo con el cual, debido al confinamiento, las tensiones elásticas aprovechan la energía de las ondas elásticas de compresión (Ondas P), que también se van generando, para saltar por delante de la zona de velocidad Rayleigh. Al aprovechar esa energía adicional de las ondas de compresión, se genera una microfractura secundaria por delante que es inmediatamente alcanzada por la fractura. En otras palabras, la fractura logra "transferirse" o saltar la zona prohibida de manera abrupta, alcanzando directamente una velocidad supersónica, apoyada por las ondas de compresión, que es estable y mayor que V_S.

Formación del pulso de alta velocidad

Para comprender cómo se origina un pulso de alta velocidad con mucha amplitud y corta duración (el llamado pulso sísmico supersónico o choque de Mach), se debe analizar la cinemática de la falla desde la mecánica de ondas y la superposición o interferencia constructiva, lo cual se decribe en los párrafos siguientes.

Como se ha indicado, en el proceso de ruptura convencional, una falla inicia la ruptura a velocidad convencional $V_r = 0{,}82\ V_S$ y, por ende, las ondas de corte viajan por delante del frente de ruptura. En consecuencia, los sismómetros o acelerómetros en la superficie registrarán una llegada gradual de energía que se dispersa en el tiempo a medida que la distancia aumenta.

Contrariamente, en el régimen *super-shear* ($V_r > V_S$), el mecanismo cambia drásticamente debido a tres fases físicas consecutivas:

I. *Atrapamiento de Energía Sísmica*: Como el frente de ruptura avanza más rápido que las ondas que genera, las mismas no pueden disiparse hacia adelante y quedan atrapadas en una envolvente geométrica cónica (frente de Mach) descrita más adelante.

II. Coherencia de Fase (superposición *de ondas o interferencia constructiva)*: De acuerdo con el principio anterior, cada punto del plano de la falla que es alcanzado por la ruptura actúa como un emisor instantáneo de ondas esféricas. Entonces, como $V_r > V_S$, existe una línea geométrica única en el espacio donde los frentes de onda circulares emitidos en tiempos totalmente distintos llegan exactamente al mismo tiempo y con la misma fase.

III. *Colapso del Tiempo de Viaje en un Pulso Sónico*: Para un observador o equipo situado sobre este frente de Mach, la diferencia de tiempo de llegada entre la energía liberada al inicio de la falla y la liberada al final se reduce a cero. Toda la energía transitoria de corte del sismo se comprime y se apila en un único instante de tiempo. El resultado instrumental es un pulso de velocidad del suelo con una aceleración pico extrema, con forma de choque agudo (una onda en forma de "N" o un pulso monopolar/bipolar de muy alta frecuencia).

Para calcular el Ángulo de Mach β, es decir, el ángulo en el cual se propaga la onda de choque respecto a la línea de la falla) se tiene:

$$sen\ (\beta) = V_S\ /\ V_r \qquad \text{ecuación (9)}$$

La Tabla 2 resume las diferencias entre una ruptura bubsónica y una supersónica.

Tabla 2 *Diferencias entre una ruptura bubsónica y una supersónica.*

Régimen de Velocidad	Relación Matemática	Comportamiento en las Etapas de Ruptura
Sub-Rayleigh (Convencional)	$V_r \approx 0.70V_s$ a $0.90V_s$	El frente de ruptura viaja más lento que las ondas S. Es el comportamiento estándar en la mayoría de las etapas de deslizamiento, donde las barreras imponen resistencia.
Zona Prohibida (Límite)	$V_R < V_r < V_s$	Teóricamente inestable para grietas de desgarre puras en medios homogéneos. La ruptura tiende a saltar rápidamente a través de este intervalo.
Supershear (Super-Cizalla)	$V_r > V_s$ ($\approx \sqrt{2}\ V_s$)	**Ruptura supersónica.** Ocurre exclusivamente en fallas de rumbo muy maduras y planas. Al no haber barreras geométricas y presentar baja resistencia, el frente supera la velocidad de las ondas S, generando un "cono de Mach" sísmico (choque sónico).

Para ilustrar este proceso paso a paso, se incluye como ejemplo el sismo Izmit, 1999, en Turquía, M_w =7,4. Este evento fue uno de los primeros en la historia de la sismología moderna donde se demostró de forma irrefutable la existencia de una ruptura *super-shear*. Durante este terremoto, la ruptura comenzó de manera normal (*sub-shear*), sin embargo, al pasar por un segmento de la falla poco ápero, plano y altamente estresado al este de la ciudad de Izmit, la velocidad de fractura sufrió un "salto importante" y se aceleró de golpe.

A tal efecto, se muestran los datos reales obtenidos por los sismólogos tras analizar las estaciones cercanas a la Falla de Anatolia del Norte:

1. Velocidad local de la onda de corte, V_S =3,2 km/s (valor promedio en la corteza superior de esa región de Turquía).

2. Velocidad de ruptura medida V_r: Las estaciones sismológicas y los modelos cinemáticos registraron que en el segmento oriental la ruptura viajó a 4,7 km/s.

3. Para esas condiciones se cálculo el parámetro f real, utilizando la ecuación (8):

$$f = V_r / V_S = 4{,}7 / 3{,}2 \approx 1{,}47$$

Eso significa que la falla rompió un 47 % más rápido que las ondas S. Este valor está perfectamente bien alineado con la predicción teórica de la velocidad de Eshelby (approx 1,4142), lo que confirmó que la falla alcanzó un estado de propagación *super-shear* muy estable.

4. El cálculo del Ángulo del Frente de Mach Real, con el cual la onda de choque golpeó las ciudades aledañas en ese segmento de la falla. Eso se logra aplicando la ecuación (9):

$$sen\,(\beta) = V_S \,/\, V_r = 3{,}2 \,/\, 4{,}7 \approx 0{,}6808$$

$$\beta = sen^{-1}\,(0{,}6808) \approx 42{,}9$$

¿Cuál fue, entonces, el impacto real de estos parámetros en las obras? Normalmente, el movimiento del suelo más violento ocurre justo al lado de la falla y disminuye rápidamente a medida que la localización se aleja de la misma. Sin embargo, en el tramo *super-shear* de Izmit hubo un pulso destructivo ya que, por el ángulo de Mach, la energía sísmica no se disipó radialmente, sino que viajó concentradamente dentro de dicho ángulo hasta una distancia de varios kilómetros desde la falla en un pulso de alta energía. Véase el esquema de la Figura 6.

En consecuencia, las ciudades e infraestructuras situadas dentro del ángulo Mach a pocos kilómetros de la falla y a lo largo de la trayectoria de la misma recibieron un impacto simultáneo y violento (las ondas S llegaron al mismo tiempo que el frente de ruptura), duplicando el potencial de daño estructural en edificios que teóricamente debieron sufrir menos por estar "lejos" del epicentro. De acuerdo con Safina (2026), algo similar sucedió durante los sismos del 24 de junio 2026 en el norte de Venezuela y generó muchos colapsos simultáneos de edificaciones en distintas zonas de La Guaira.

De esta manera, queda demostrado que, los mecanismos en la fuente pueden genarar casos importantes en la forma de los acelerogramas o sismogramas. La velocidad de la ruptura y las condiciones de la roca, los esfuerzos en la superficie de la falla pueden causar, por una parte, rupturas escalonadas con varios trenes de ondas S y, por otra parte, superposición de ondas con pulsos de muy alta energía. Ambos producen cambios en los espectros y los picos de aceleraciones que pueden llegar a ser muy destructivos.

Conclusiones

A partir de los aspectos teóricos incluidos en este ensayo, se evidencia que los mecanismos en la fuente tienen una relevancia muy significativa en la forma de los registros de aceleraciones o velocidades y en los niveles de energía del sismo al alcanzar distintos sitios en la superficie del terreno.

En relación con la complejidad de los sismogramas o acelerogramas se tiene que, la presencia de múltiples picos de esas variables y trenes de ondas extendidos en un registro instrumental no significa necesariamente que sean sismos en zonas distintas, sino que la ruptura haya sido sucesiva y múltiple a partir de asperezas en un mismo sitio del plano de falla. No obstante, también se puede dar el caso de que las rupturas ocurran en sitios distintos separados por intervalos de tiempo cortos.

Es posible que dos terremotos con magnitudes de momento M_w globales idénticas liberen casi la misma energía total, pero su potencial destructivo en superficie varíe drásticamente si uno de ellos presenta una ruptura secuencial en más de una etapa. La ruptura secuencial o en etapas concentra pulsos de alta frecuencia que generan aceleraciones locales mucho más severas que un deslizamiento homogéneo.

El momento sísmico global no equivale a la suma escalar directa de los momentos de cada sub-evento, ya que el momento sísmico refleja una matriz de fuerzas tridimensional (tensor) condicionada por aspectos geométricos, solapamientos y cambios de rumbo de la fractura en el plano de falla.

La barrera de velocidad impuesta por las ondas Rayleigh en la interfaz de la falla es infranqueable de manera gradual debido a la anulación del flujo de energía; por lo tanto, el régimen *super-shear* se alcanza mediante el salto discreto de la fractura hasta otras microfracturas por delante de la misma que con la ayuda de las ondas primarias logran evitar dicha zona infranqueable impuesta por las ondas Rayleigh.

Los sismos que logran propagarse a velocidades supersónicas $V_r > V_S$ previenen la dispersión temporal de la energía de corte. Al alinearse las fases circulares en un frente de onda común, descargan un pulso de velocidad concentrado y de impacto instantáneo, lo que multiplica el riesgo de colapso simultáneo en las edificaciones dentro del ángulo Mach a medida que se propaga la ruptura a mayor velocidad que las ondas S.

Es altamente probable que durante los sismos del 24 de junio de 2026 en el norte de Venezuela se haya presentado una situación de *super shear* con superposición de ondas y pulso de alta energía que causó el colapso simultáneo de varias edificaciones.

Referencias

Aki, K. (1979). Characterization of barriers on an earthquake fault. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 84(B11), 6140-6148. (Introduce el modelo de barreras mecánicas).

Aki, K. (1966). Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964: Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum. Bulletin of the Earthquake Research Institute, 44, 73-88.

Aki, K., & Richards, P. G. (2002). Quantitative seismology (2.ª ed.). University Science Books.

Andrews, D. J. (1976). Rupture velocity of plane strain shear

cracks. Journal of Geophysical Research, 81(32), 5679–5687. doi.org

Atkinson, C., & Eshelby, J. D. (1968). The flow of energy into the tip of a moving crack. International Journal of Fracture Mechanics, 4(1), 3-8.

Bhat, H. S., Dmowska, R., King, G. C. P., Klinger, Y., & Rice, J. R. (2007). Off-fault damage patterns due to supershear ruptures with application to the M_w 7.9 Denali fault earthquake of 2002. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 112(B6), B06301. doi.org

Brune, J. N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. Journal of Geophysical Research, 75(26), 4997-5009. doi.org

Boore, D. M. (1983). Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra. Bulletin of the Seismological Society of America, 73(6A), 1865-1894.

Boore, D. M. (2003). Simulation of ground motion using the stochastic method. Pure and Applied Geophysics, 160(3), 635-676. doi.org

Burridge, R. (1973). Admissible speeds for plane-strain self-similar shear cracks con travel times. Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, 26(1), 69–97

Dieterich, J. H. (1979). Modeling of rock friction: 1. Experimental verification of constitutive relations. Journal of Geophysical Research, 84, 2161-2168. (Leyes de fricción de velocidad y estado).

Dunham, E. M., & Archuleta, R. J. (2005). Near-source ground motion from steady state supershear rupture. Bulletin of the Seismological Society of America, 95(6), 2239–2257. doi.org

Eshelby, J. D. (1969). The Elastic Field of a Crack Extending Non-Uniformly under General Anti-plane Loading. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 17(3), 177-199. [1] (https://www.osti.gov/servlets/purl/4682424)

Freund, L. B. (1972). Energy flux into the tip of an extending crack in an elastic solid. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 20(3), 129-152. doi.org

Ida, Y. (1972). Cohesive force across the tip of a longitudinal-shear crack and a theoretical model of earthquake rupture. Bulletin of the Seismological Society of America, 62(3), 751-770.

Kagan, Y. Y. (2003). Accuracy of modern global earthquake models. Geophysical Journal International, 155(3), 980–1007. doi.org.

Kanamori, H., & Stewart, G. S. (1978). Seismological aspects of the Guatemala earthquake of February 4, 1976. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 83(B7), 3427-3434. (Fundamento del modelo de asperezas).

Kostrov, B. V. (1964). Self-similar problems of propagation of shear cracks. Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 28(5), 1077-1087. doi.org

Meier, M.-A., Ampuero, J. P., & Heimpel, M. (2019). Earthquakes within earthquakes: Patterns in rupture complexity. Geophysical Research Letters, 46(13), 7336–7346. doi.org

Palmer, A. C., & Rice, J. R. (1973). The growth of slip surfaces in the progressive failure of over-consolidated clay. Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences, 332(1591), 527-548.

Safina, S. Comunicación personal

Scholz, C. H. (2019). The mechanics of earthquakes and faulting (3.ª ed.). Cambridge University Press.

Sibson, R. H. (1985). A note on fault reactivations. Journal of Structural Geology, 7(6), 751-754.

Yue, H., Lay, T., Rivera, L., An, C., Vigny, C., Tong, X., & Báez, J. C. (2014). Localizing subevents of the 2010 Maule, Chile, earthquake (\(M_{w}\) 8.8) using a multiple point-source inversion. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 119(4), 2859–2878

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/172
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 125 – 144

ENSEÑANZAS GEOLÓGICAS DEL DOBLETE SÍSMICO DE LA GUAIRA DE 2026: IMPLICACIONES DEL MODELO TECTÓNICO DE LA CUÑA DE EL ÁVILA

Roque GARCÍA RUIZ[1]

RESUMEN

Este ensayo analiza los factores geodinámicos, morfotectónicos y geotécnicos vinculados al doblete sísmico de La Guaira del 24 de junio de 2026 (S1 Mw 7.2 y S2 M_w 7.5), fundamentado en evidencias empíricas de campo y mediciones de Interferometría de Radar de Apertura Sintética (InSAR NISAR). A partir del desplazamiento coseísmico de 60 cm identificado en el cerro El Ávila y los contrastes morfobatimétricos entre los flancos este y oeste del Aeropuerto Internacional de Maiquetía, se formula el modelo geotectónico de la «Cuña de El Ávila». Este mecanismo conceptualiza al macizo como una traba estructural entre la falla de El Ávila y la zona transformante de San Sebastián, capaz de acumular tensiones en sentido este-oeste. La ruptura inicial en Yaracuy transfirió esfuerzos que desencadenaron, 32 segundos después, la falla catastrófica en Maiquetía. La interacción ortogonal del tren de ondas (P de S1 con P/S de S2) explica la severa heterogeneidad del daño, acentuada por amplificación espectral y licuación, esto último en suelos aluviales, al pie de los abanicos coluviales como Caraballeda y Playa Grande. Se sugiere que la masiva liberación energética del doblete de 2026, acoplada al precedente histórico de 1812, induce un desfase temporal secular para eventos destructivos de magnitud equivalente. Finalmente, se destaca el valor estratégico del monitoreo InSAR como herramienta fundamental para la gestión integral de riesgos geotécnicos y alerta temprana en relieve montañoso.

ABSTRACT

Geological Insights from the 2026 La Guaira Seismic Doublet: Implications of the El Ávila Structural Wedge Tectonic Model

This study investigates the geodynamic and geotechnical factors of the June 24, 2026 La Guaira seismic doublet (S1 Mw 7.2 y S2 M_w 7.5), integrating field observations with satellite InSAR (NISAR) data. Based on a 60 cm coseismic displacement across the El Ávila massif and morphobathymetric contrasts around Maiquetía Airport, we propose the "El Ávila Structural Wedge" tectonic model. This block acts as a rigid structural lock between the El Ávila fault and the San Sebastián transform zone, accumulating east-west strain until failure. Rupture in Yaracuy induced stress transfer that triggered catastrophic failure off Maiquetía 32 seconds later. Orthogonal wavefield interference (P-waves from S1 with P/S-waves from S2) explains damage heterogeneity, amplified by liquefaction and site effects in Caraballeda and Playa Grande colluvial fans. The massive energy release, coupled with the 1812 precedent, suggests a secular recurrence interval for major events. Finally, high-precision InSAR monitoring is highlighted as an essential tool for regional hazard mitigation.

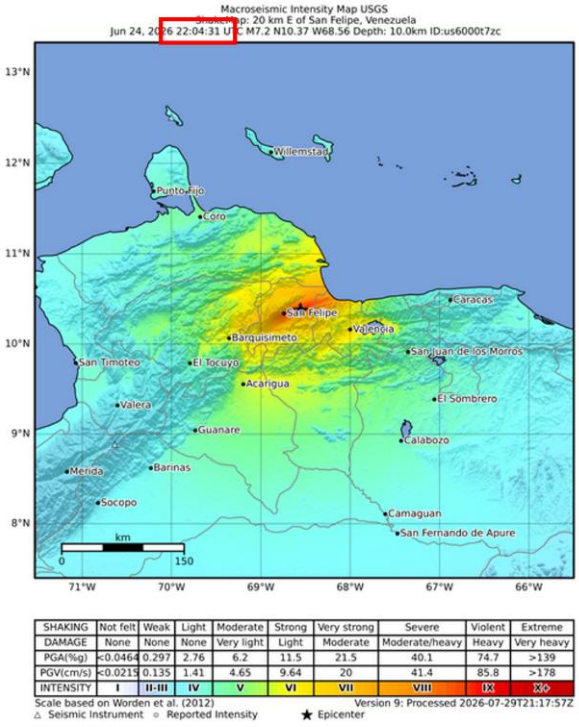
Palabras clave: Doblete sísmico de La Guaira de 2026, Cuña de El Ávila, falla de San Sebastián, interferometría InSAR, respuesta de sitio, recurrencia sísmica.
Keywords: 2026 La Guaira seismic doublet, El Ávila structural wedge, San Sebastián fault, InSAR interferometry, Site response, Seismic recurrence.

INTRODUCCIÓN

A raíz del reciente terremoto del 24 de junio de 2026, que afectó a La Guaira y Caracas, se presenta este trabajo con el objetivo de ampliar las observaciones sobre el desastre con base en la abundante información existente y las enseñanzas geológicas. En la actual era de observaciones espaciales mediante Interferometría de Radar de Apertura Sintética (InSAR) a través de la misión satelital NISAR (NASA-ISRO), los resultados obtenidos pueden servir de base para la prevención de eventos similares.

Numerosos reportes se han generado sobre el terremoto ocurrido en Venezuela el 24 de junio del presente año a las 6:04 p.m., el cual afectó con fuerza el área norte-central del país, causando amplios destrozos en La Guaira y, en menor proporción, en el área de la capital, Caracas. Las investigaciones de los especialistas relacionan los efectos sísmicos con dos eventos: un primer sismo en Yaracuy de magnitud M_w 7.2, y otro ocurrido unos 32 segundos después, de magnitud M_w 7.5, localizado al norte del Aeropuerto Internacional de Maiquetía. (Consultar las páginas de la NASA y USGS sobre el sismo de La Guaira de 2026). En la Figura 1, tomada de la página de la USGS, se muestran las características de ambos sismos, así como su intensidad.

[1] Ingeniero geólogo. Profesor de la Universidad Católica Andrés Bello. Vicepresidente de la Sociedad Venezolana de Geotecnia



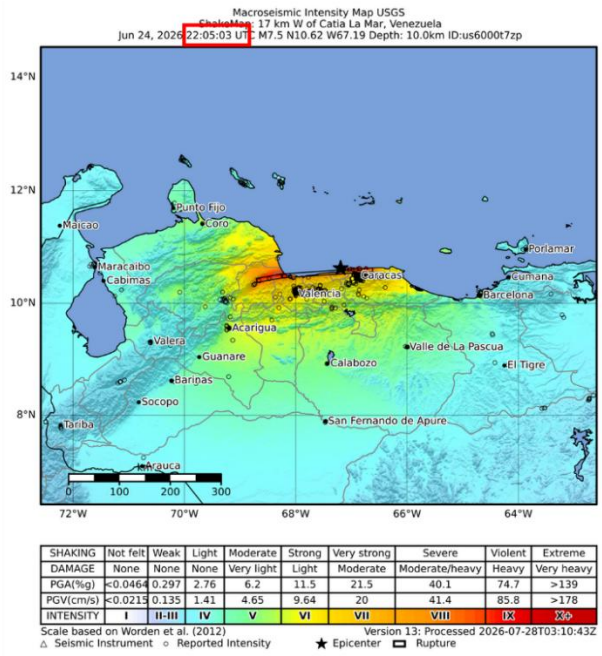


Figura 1. *Resumen de los sismos ocurrido el 24 de junio de 2026, tiempo entre eventos 32 s. Tomado de la página USGS*

El primer sismo se localiza en el sistema de fallas de Boconó. El segundo, en la denominada falla geológica de San Sebastián, cuya traza, de dirección este-oeste, es paralela a la costa y se ubica, por lo general, en el mar, a una distancia variable del litoral. Ambas fallas constituyen el contacto entre la placa tectónica del Caribe y la placa tectónica Sudamericana. Estos sistemas de fallas no deben considerarse como líneas únicas, sino como una amplia zona de deformación activa que recorre la costa norte de Venezuela y que, hacia el oeste, se adentra en el relieve montañoso de los Andes (Véase la Figura 2).

Las placas tectónicas abarcan millones de kilómetros cuadrados y, como se ha demostrado, constituyen grandes áreas de la corteza terrestre que se han ido desplazando durante más de 100 millones de años desde un único continente, lo cual es observable con evidencias topográficas y geológicas en cualquier mapamundi. Las placas ponen en contacto distintos tipos de rocas bajo un complejo panorama de franjas litológicas que, en general, se orientan paralelas a los denominados contactos de placas. Al visualizar cualquier plano geológico asociado a escala mundial, las fallas se registran como líneas de trazo negro que parecieran representar una línea única, pero a escala detallada aparecen numerosas líneas paralelas que, por lo general, controlan la expresión topográfica.

En el área de La Guaira, a lo largo de un segmento de costa no mayor a 40 kilómetros, los efectos del sismo no resultaron uniformes en las distintas poblaciones existentes, presentándose zonas de destrucción baja, media y alta (Véase la Figura 3)



Figura 2. *Plano de FUNVISIS, con la delimitación de las placas del Caribe y Sudamericana.*



Figura 3. *Intensidad de daños a lo largo de la costa de La Guaira, y en la parte norte de Caracas.*

Resulta impresionante la cantidad de edificaciones destruidas en las áreas de Playa Grande y Caraballeda. Llama la atención que, entre estas dos localidades, específicamente entre las quebradas de Cariaco y El Cojo, así como en Naiguatá, ubicada a una distancia no mayor a 12 kilómetros hacia el este, no se observen daños de la misma intensidad o con la misma densidad de edificaciones afectadas. No obstante, se destaca que las áreas de playa debieron ser sometidas a efectos de licuación.

En las imágenes proporcionadas por la NASA (2026), donde se evalúan los desplazamientos del terreno, se registra un máximo de 60 centímetros. Al oeste, y a lo largo de unos 40 kilómetros de costa hacia Puerto Cabello, destaca una delgada

franja paralela a la línea de costa con un ancho no mayor a los 500 metros. Otro desplazamiento del terreno, con un ancho de unos cinco (5) kilómetros, se delimita al sureste de Maiquetía, en el cerro El Ávila, con una longitud de unos 20 kilómetros, formando una especie de óvalo alargado con desplazamiento coseísmico relativo hacia el oeste, tal como se muestra en la Figura 4.

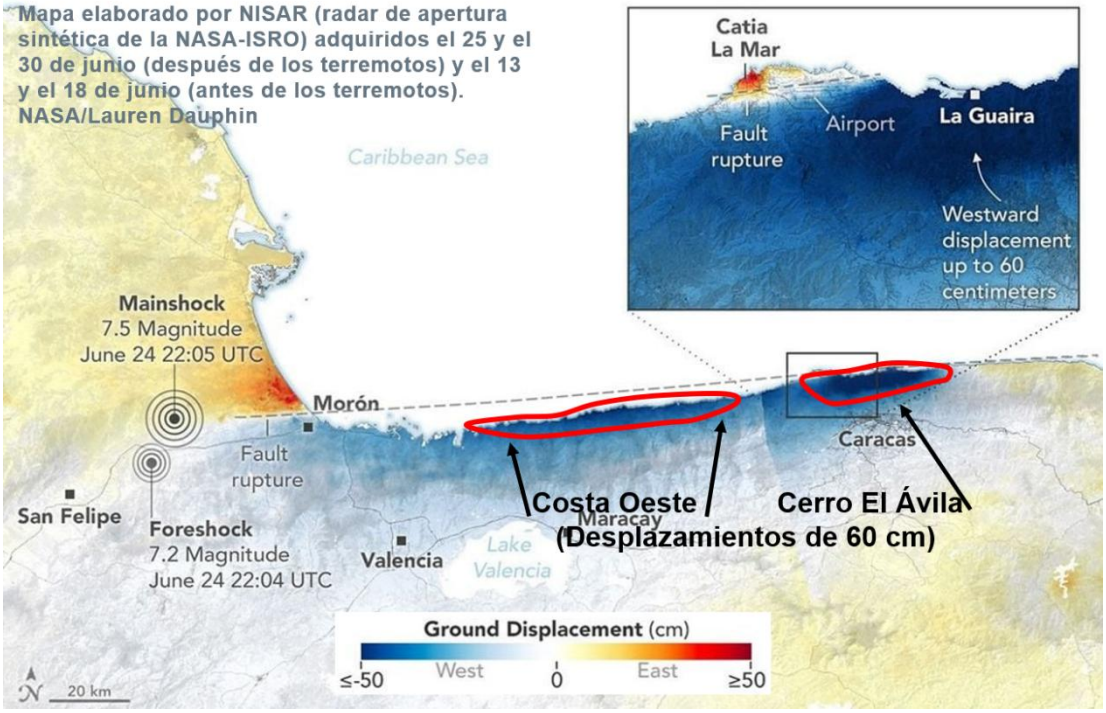


Figura 4. *Mapa de desplazamientos del terreno, proporcionado por la NASA.*

El sector del aeropuerto, que incluye una extensa zona residencial al norte, se caracteriza fisiográficamente por ser una amplia meseta de aproximadamente 3.5 km de ancho por 5 km de longitud, sobre la cual se emplaza la pista de aterrizaje. Esta meseta delimita la posición y orientación de la línea de costa, rasgo observable que, junto a otras condiciones geomorfológicas de interés, evidencia una historia geológica reciente de miles de años. En su flanco oeste, destacan laderas escarpadas hacia el mar con ausencia de conos coluviales, y la presencia de zonas de playas limitadas exclusivamente a las desembocaduras de los ríos. Hacia el este, por el contrario, los conos coluviales son claramente visibles y las playas en las desembocaduras de los ríos se extienden por largos kilómetros.

El desarrollo de un sismo depende del movimiento a través de una ruptura en la corteza terrestre que involucra un volumen determinado, considerando tanto su ancho como su profundidad. La estimación de este volumen de corteza afectada está directamente relacionada con la magnitud del sismo y su profundidad focal. En la Tabla 1 se presenta un resumen de la ubicación y la estimación de la masa afectada, correspondientes al sismo de Caracas de 1967 y a los dos sismos de La Guaira de 2026, consolidando la información conjunta de FUNVISIS, NASA y USGS. Resulta notable destacar que la longitud de la masa afectada por el Sismo 2 (M_w 7.5) es similar a la distancia epicentral entre ambos eventos telúricos.

Tabla 1*. Valores comparativos de la ubicación y estimación de la masa de la corteza terrestre afectada, para los sismos de 1967 y 2026. FUNVISIS, NASA, USGS*

	Terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967	**Primer evento sísmico de La Guaira del 24 de junio de 2026**	**Segundo evento sísmico de La Guaira del 24 de junio de 2026**
Magnitud	6.5 a 6.6 Mw	7.2 M_w	7.5 M_w
Epicentro	Litoral Central, aproximadamente a 20 km al noroeste de Caracas	Estado Yaracuy (cerca de San Felipe y el municipio Veroes, sobre la falla de Boconó).	Costa del estado La Guaira / Mar Caribe (frente a Catia La Mar y al noroeste de Caracas, sobre la falla de San Sebastián).

Profundidad	Estimada entre 10 y 16 km	20.3 km	10 km.
Hora	8:05 p.m.	6:04 p.m.	30 –39 segundos después del primero
Coordenadas	10° 33.6' N, 67° 19.8' O	10° 26.1' N, 68° 28.32' O	10° 37.32' N, 67° 11.64' O
Ubicación		Aproximadamente 28 km al sureste de Yumare (estado Yaracuy) / zona limítrofe con Carabobo.	Aproximadamente 17 km al oeste de Catia La Mar
Dimensiones del plano de falla	**Longitud (L)**: Estimada en 33.3 km (ruptura progresiva paralela a la falla de San Sebastián). **Ancho (W)**: Estimado en 10.5 km. **Profundidad influenciada (H)**: 14.1 km hasta 8.6 km de la superficie, cubriendo una franja vertical efectiva de unos 10 km.	Sin información oficial	130 km 15 km 10 km
Masa afectada	≈ 3.495,5 km^3	Sin información oficial	≈ 19,500 km^3

En la actualidad, los satélites constituyen una red de vigilancia permanente, cuyas observaciones y mediciones deben relacionarse con los distintos aspectos geológicos y geomorfológicos de la superficie terrestre. Esta integración de datos permite el desarrollo de modelos geotécnicos complejos que faciliten la previsión o la mitigación de los efectos sísmicos. A la vista de los datos, el desplazamiento indicado por la NASA en el cerro El Ávila evidencia una brusca liberación de esfuerzos hacia el oeste en un volumen importante del macizo rocoso, los cuales debieron de estar en proceso de acumulación durante un prolongado lapso.

Hipótesis, Objetivos y Alcances del Ensayo

Objetivo General:

Evaluar e integrar las evidencias geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y los datos InSAR del terremoto del 24 de junio de 2026, con la finalidad de formular un modelo geotectónico integrado que explique la mecánica de ruptura del doblete sísmico, la variabilidad espacial de los daños y sus implicaciones en la recurrencia histórica de grandes eventos en la franja norte-central de Venezuela.

Hipótesis de Trabajo:

Tomando en cuenta las deformaciones coseísmicas de 60 cm detectadas por InSAR, los espesores sedimentarios y el marcado contraste morfobatimétrico a ambos lados del Aeropuerto de Maiquetía, se plantea como hipótesis que el bloque montañoso del cerro El Ávila actúa como una **cuña estructural rígida («Cuña de El Ávila»)** restringida entre el sistema de fallas homónimo y la zona transformante de San Sebastián. Esta cuña funcionó como una traba o freno tectónico que acumuló tensiones en sentido este-oeste; el primer sismo en Yaracuy (S1, M_w 7.2) actuó como el disparador de esfuerzos que desencadenó, 32 segundos después, el destrabamiento catastrófico y la respuesta elástica de la cuña en el sismo de Maiquetía (S2, M_w 7.5). En consecuencia, la magnitud de la energía disipada por este doblete sísmico (que se suma al antecedente de 1812) aleja la posibilidad de un nuevo evento destructivo de proporciones similares en la región durante un periodo de escala secular.

Estructura del Aporte:

1. **Caracterización de los Sistemas Estructurales:** Análisis comparativo de la continuidad litológica y espesores de zona de falla en el sistema Boconó y San Sebastián.
2. **Control Geológico y Batimétrico:** Interpretación de la asimetría de laderas, profundidades marinas e inestabilidad de masas.
3. **Cinemática de Ondas del Doblete:** Modelación del patrón de interferencia temporal y espacial de ondas P, S y superficiales.
4. **Respuesta de Sitio y Geotecnia:** Evaluación de la respuesta dinámica en la terraza del aeropuerto y en los conos coluviales de Caraballeda.
5. **Validación del Modelo Tectónico «Cuña de El Ávila»:** Formulación cinemática del bloque e implicaciones en el reacomodo de réplicas y prevención sísmica.

LAS PLACAS TECTÓNICAS Y LAS FALLAS GEOLÓGICAS.

Desde los fundamentos básicos de la geología, las fallas geológicas se definen como fracturas en la corteza terrestre a lo largo de las cuales ha ocurrido un desplazamiento relativo. En la divulgación general, el término suele utilizarse casi exclusivamente al reportar la ocurrencia de sismos destructivos. En el caso del evento de La Guaira de 2026, la actividad se vincula con la dinámica del sistema de la falla de San Sebastián, el cual, en continuidad cinemática con el sistema de la falla de Boconó, constituye el límite transformante entre la placa del Caribe y la placa Sudamericana. Como se ilustra en la Figura 2, el contacto entre ambas placas se caracteriza por un movimiento relativo destral; esto implica que, independientemente del bloque desde el cual se observe, el bloque opuesto se desplaza horizontalmente hacia la derecha.

Inspecciones de Campo en el Sistema Boconó (1972–1992)

En la cordillera andina venezolana, el diseño, la viabilidad geotécnica y la factibilidad de las principales obras de infraestructura hidráulica proyectadas en los últimos 50 años han estado fuertemente determinados por la presencia del sistema de fallas de Boconó. En la Figura 5 se posicionan varios sitios de obra inspeccionados en el campo entre 1972 y 1992. La descripción de estas evidencias empíricas resulta fundamental para precisar el concepto de «falla geológica» y constatar que su ancho y comportamiento mecánico varían drásticamente según la litología involucrada:

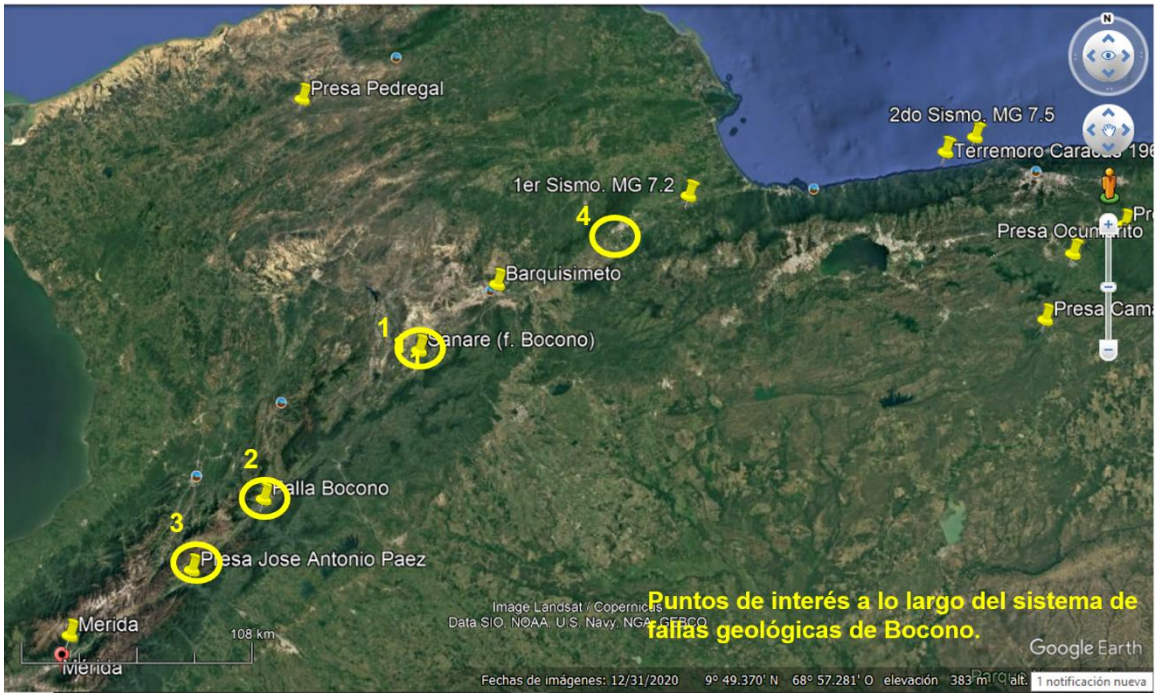


Figura 5. *Puntos de interés de distintas obras hidráulicas, relacionadas con la presencia de la falla de Boconó.*

Túnel de Yacambú: La factibilidad del aprovechamiento hidráulico del río Yacambú (1972) requirió la excavación de un túnel trasvase que atravesó transversalmente la zona de falla de Boconó en las cercanías de Sanare. En superficie, la expresión geomorfológica de la estructura corresponde a una franja topográfica ondulada y deprimida con respecto al relieve circundante. Las estimaciones de ingeniería previeron una zona de cizalla de aproximadamente **1500 metros de espesor**, dimensión corroborada durante las obras subterráneas. Este amplio dominio estuvo constituido por rocas altamente tectonizadas (filitas, esquistos y meta-areniscas) con intercalaciones de brechas arcillosas e intensos planos de cizallamiento provistos de espejos de falla.

Aprovechamiento Hidroeléctrico Boconó-Tostós: Ubicado a 30 km al suroeste de la ciudad de Boconó (década de 1980), el proyecto contemplaba una presa de 100 m de altura en un valle estrecho excavado sobre un macizo granítico de alta calidad mecánica. No obstante, la factibilidad técnica fue desestimada debido a las condiciones del vaso de almacenamiento: la margen izquierda estaba dominada por una franja de 10 km de longitud por 300 m de ancho con materiales intensamente fracturados y tectonizados pertenecientes a la traza principal de la falla de Boconó. La inestabilidad de las laderas a lo largo del embalse representaba un riesgo geotécnico inaceptable, a pesar de que en el sitio específico del eje de presa la zona de falla se reducía a una brecha estrecha de un metro entre granitos y esquistos.

Presa José Antonio Páez / Río Santo Domingo: En el sitio de emplazamiento de la presa de arco-bóveda sobre el río Santo Domingo, ubicada a escasos metros de la traza de la falla de Boconó, la estructura se manifestó con un comportamiento radicalmente distinto al de Yacambú. La falla se caracterizó por

un plano subvertical de **menos de un (1) metro de espesor**, compuesto por una brecha granular triturada y fuertemente cementada, la cual ponía en contacto directo los granitos de alta resistencia de la fundación con una secuencia de gneises.

Valle de Barquisimeto y Río Turbio: A nivel regional, la traza de Boconó ejerce un estricto control morfotectónico sobre grandes depresiones. Destaca el extenso valle que alberga a la ciudad de Barquisimeto sobre una amplia terraza, delimitada al sur por la cuenca aluvial por donde divaga el río Turbio, cuyo control estructural se vincula directamente con la falla de Boconó (FUNVISIS). Asimismo, la continuidad del amplio valle que une a Yaritagua, Urachiche, Chivacoa, San Felipe y Morón demuestra el control tectónico sostenido de esta falla, donde la presencia de terrazas y conos coluviales da cuenta de prolongados periodos de estabilidad geológica.

Las observaciones en los Andes confirman que el sistema de fallas de Boconó no se comporta como una fractura homogénea. Sus anchos varían desde unos pocos centímetros en rocas plutónicas cristalinas hasta franjas tectónicas superiores a un kilómetro en secuencias metasedimentarias arcillosas (Schubert et al., 1983).

Extensión Marina: El Sistema de Fallas de San Sebastián

Hacia el dominio marino del mar Caribe, el sistema de Boconó se prolonga en el sistema de fallas de San Sebastián. En la cartografía regional, esta estructura suele representarse mediante una línea continua que delimita el contacto entre las placas Caribe y Sudamericana. Sin embargo, esta representación es una simplificación geométrica, dado que la traza permanece sumergida y no se fundamenta en observaciones de superficie directas.

De manera análoga al sistema andino, San Sebastián no debe concebirse como un plano de falla único, sino como una banda de deformación activa de al menos 30 kilómetros de ancho compuesta por múltiples trazas discontinuas y paralelas. Si bien la traza principal se grafica mar adentro (a una distancia entre 30 y 40 km de la costa), el perfil rectilíneo del litoral central y sus abruptas pendientes montañosas demuestran la existencia de fallas escarpadas paralelas a la orilla, las cuales conectan cinemáticamente hacia el oriente con los sistemas de los golfos de Cariaco y Paria, integrándose a la falla de El Pilar.

CONTROL GEOLÓGICO DE LA COSTA NORTE Y LA BATIMETRÍA.

El área del Aeropuerto Internacional de Maiquetía y el sector de Playa Grande constituyen unidades geomorfológicas singulares que sobresalen en la línea de costa a modo de un promontorio saliente hacia el mar Caribe, diferenciando a ambos lados dominios morfodinámicos y estructurales claramente contrastantes (Figura 6).

Dominio Occidental (Sector Playa Grande – Puerto Cabello)

Hacia el oeste de Maiquetía, la costa se presenta predominantemente escarpada, interrumpida únicamente por estrechas playas locales confinado al pie de las desembocaduras fluviales. En este tramo costero existen evidencias directas de deformaciones activas en el macizo rocoso; un ejemplo geotécnico representativo se observa en el sistema de aducción de agua potable entre Chichiriviche de la Costa y la planta de tratamiento de Picure, donde tramos de tubería de hasta un kilómetro de longitud están sometidos de forma continua a movimientos del terreno. Estas deformaciones imponen severos efectos de tensión sobre la conducción, provocando roturas recurrentes que exigen trabajos sistemáticos de mantenimiento.



Figura 6. *Condiciones geomorfológicas de la costa norte central de Venezuela, estados Vargas, Aragua, Carabobo.*

Estructuralmente, el espacio comprendido entre la línea de costa y la traza supuesta de la falla de San Sebastián se encuentra subcompartimentado por una estructura geológica secundaria que delimita un bloque de elevado interés tectónico. Esta estructura muestra continuidad hacia el este con el sistema de la falla de El Ávila, el cual constituye el límite norte del valle de Caracas y discurre a través de la cuenca de la quebrada Tacagua hasta desembocar en el mar por el sector de Catia La Mar.

Dominio Oriental (Sector Maiquetía – Chuspa)

Al oriente de Playa Grande, la costa exhibe un comportamiento fisiográfico distinto. Si bien se observan acantilados locales, el frente montañoso se encuentra interrumpido por la progradación de extensos conos coluviales y amplias franjas de playa vinculadas a las desembocaduras de los principales ríos.

Desde el punto de vista litológico, tanto en Playa Grande como en los sectores de La Sabana, Caruao y Chuspa, destacan secuencias de rocas sedimentarias constituidas por estratos de areniscas, lutitas y conglomerados, intercaladas con horizontes calcáreos con abundante contenido fosilífero. La presencia de estos depósitos evidencia periodos pretéritos de estabilidad tectónica e hidrodinámica en el fondo marino poco profundo.

El contraste entre ambos sectores responde a una asimetría en la evolución geológica regional: mientras que la costa oriental experimentó fases de relativa estabilidad subsidencia-sedimentación que permitieron la acumulación y litificación de las secuencias sedimentarias, la costa occidental ha estado sujeta a una mayor actividad tectónica y a una dinámica marina erosiva sobre fondos marinos de mayor pendiente.

Análisis de las Cartas Batimétricas del Mar Caribe

La interpretación de las cartas de navegación batimétricas del sector norte-central de Venezuela (comprendido entre Falcón y Miranda, Figura 7) confirma de manera contundente la asimetría geomorfológica observada en tierra firme:

1. **Plromontorio de Maiquetía:** En la línea de costa se observa un descalce u ordenamiento horizontal de unos tres (3) kilómetros entre las alineaciones costeras al este y al oeste del aeropuerto.
2. **Gradiente Batimétrico Oriental:** Hacia el este de Maiquetía, la plataforma continental presenta una pendiente suave, alcanzándose la isóbata de 100 m de profundidad a una distancia superior a los 10 km de la orilla.
3. **Gradiente Batimétrico Occidental:** Hacia el oeste de la terraza del aeropuerto, el fondo marino desciende bruscamente, registrándose elevadas profundidades a muy escasa distancia del litoral como una continuación directa de las laderas montañosas escarpadas.

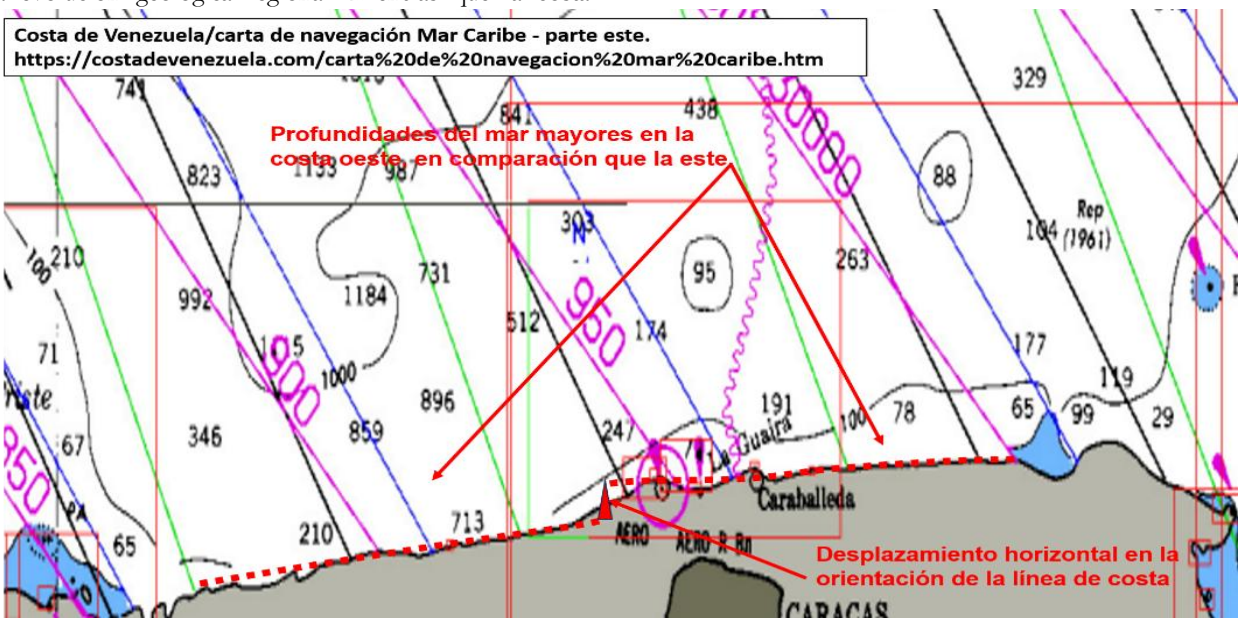


Figura 7. *Separata de la carta de navegación del Mar Caribe, abarcando el sector norte central de la costa de Venezuela.*

En este marco regional, la traza de la falla de San Sebastián se posiciona mar adentro al norte de la costa, enmarcando la zona epicentral del sismo de La Guaira de 2026. Hacia el sur, la falla geológica de El Ávila delimita el macizo montañoso por el flanco continental, extendiéndose hacia el oriente y cerrando hacia el occidente en el sector donde la cadena montañosa se acuña en dirección a la zona transformante de San Sebastián.

TERREMOTOS 1812, 1967 Y 2026

En la Figura 8 se indican sobre una imagen satelital las localizaciones epicentrales de los terremotos de 1812, 1967 y 2026 al noroeste del Aeropuerto Internacional de Maiquetía. La posición del evento de 1812 es aproximada, fundamentada en las investigaciones de sismología histórica reportadas en la literatura especializada (Altez, 2005; Choy et al., 2010).



Figura 8. *Localización de los epicentros de los sismos, 1812, 1967 y 2026, noroeste del aeropuerto de Maiquetía.*

El Evento Multiepicentral de 1812

El terremoto del 26 de marzo de 1812, ocurrido en la tarde del Jueves Santo (entre las 3:40 p. m. y las 4:07 p. m.), representó una liberación masiva de energía sísmica sin precedentes en el registro histórico venezolano. Aunque en la tradición historiográfica se le denominó «El Terremoto de Caracas», la simultaneidad de la destrucción en ciudades distantes entre sí, como Caracas, La Guaira, San Felipe, Barquisimeto, El Tocuyo y Mérida, llevó a investigadores pioneros (Fiedler, 1972) y a análisis sismológicos modernos a catalogarlo como una secuencia de sismos múltiples o un fenómeno multiepicentral que activó en rápida sucesión a los sistemas de Boconó y San Sebastián:

1. **Epicentro de la Cordillera de la Costa (Caracas / La Guaira):** Ubicado en el litoral central, ya fuera en el mar o en la franja costera entre Caracas y La Guaira, y asociado al sistema de la falla de San Sebastián. Este evento causó la destrucción masiva de Caracas y el colapso casi total del puerto de La Guaira. Sus coordenadas aproximadas se sitúan alrededor de los 10.5° N y 66.9° O, y los modelos sismológicos modernos (Choy et al., 2007; FUNVISIS, 2010) estiman para este evento una magnitud de momento entre M_w 7.1 y 7.2.
2. **Epicentro de la Región Centro-Occidental:** Localizado en el valle del río Yaracuy, en las cercanías de San Felipe y Barquisimeto, y vinculado a la zona de interacción entre la falla de Boconó y la falla de San Sebastián, próxima a la serranía de Aroa.
3. **Epicentro de los Andes (Mérida):** Situado en las proximidades de la ciudad de Mérida y la cuenca del río Chama, responsable de la destrucción de gran parte de la capital merideña y sus poblaciones circundantes, asociado a la falla de Boconó.

En el plano histórico y político, este fenómeno multiepicentral tuvo una profunda trascendencia al precipitar, entre otros factores, la caída de la Primera República, impulsada por los severos estragos económicos y demográficos, así como por el uso ideológico y propagandístico que el bando realista hizo de la catástrofe.

El Terremoto de Caracas de 1967

De acuerdo con la información institucional de FUNVISIS, el 29 de julio de 1967 a las 8:05 p. m. un terremoto destructor con una magnitud oficial estimada entre Mw 6.5 y 6.7 azotó a la ciudad de Caracas. El evento dejó en ruinas varios edificios de hasta 12 niveles, arrojando un saldo trágico de aproximadamente 283 fallecidos y más de 2000 heridos. La ciudadanía percibió con claridad dos sacudidas principales: la primera y más potente registrada a las 8:05 p. m., seguida por una réplica importante a las 8:43 p. m. Cabe destacar que el Observatorio Cajigal no emitió boletines informativos hasta pasadas las 10:25 p. m., debido a que su sede en La Planicie se encontraba desierta o debió ser evacuada ante el riesgo inminente.

El epicentro se localizó en el mar Caribe, en las coordenadas geográficas aproximadas 10.6° N y 66.9° O, situándose a una distancia estimada de entre 20 y 30 kilómetros al oeste del aeropuerto de Maiquetía.

Además de los severos daños estructurales en la capital, la sacudida provocó una importante inestabilidad de terrenos al sur del lago de Valencia, donde franjas de suelo sufrieron deslizamientos en dirección norte que terminaron sumergidas en la laguna. De igual forma, se registraron múltiples deslizamientos de tierra a lo largo de la Cordillera de la Costa, afectando de manera crítica las carreteras de acceso hacia El Junquito, La Colonia Tovar y Naiguatá.

El Doblete Sísmico de La Guaira de 2026

El 24 de junio de 2026, las regiones noroccidental y centro-norte de Venezuela fueron impactadas por una secuencia sísmica doble de mecanismo de falla de rumbo destral:

- **Sismo 1 (S1 - Precursor / Detonante):** Ocurrió a las 6:04 p. m. (18:04:31 VET) con una magnitud de M_w 7.2 y profundidad focal de 20.3 km, con epicentro localizado en las cercanías de San Felipe, estado Yaracuy, sobre el extremo oriental del sistema Boconó.

- **Sismo 2 (S2 - Evento Principal):** Desencadenado tan solo 32 segundos después (18:05:03 VET) con una magnitud de M_w 7.5 y profundidad reducida a 10 km, localizado en el mar Caribe, a unos 17 km al oeste-noroeste de Catia La Mar y a 20 km de Maiquetía, sobre la zona de falla de San Sebastián, existiendo una separación epicentral entre ambos epicentros de aproximadamente 140 kilómetros.

Ambos eventos causaron devastación generalizada en el norte del país, registrándose las mayores afectaciones en el estado La Guaira y afectaciones de consideración en el área metropolitana de Caracas. En general se presentaron afectaciones en siete estados: La Guaira, Distrito Capital, Miranda, Aragua, Carabobo, Yaracuy y Falcón. De acuerdo con los reportes oficiales presentados ante la Asamblea Nacional a finales de agosto 2026, el saldo a nivel nacional incluyó 855 edificios severamente afectados, de los cuales 189 sufrieron un colapso total y 666 presentaron colapsos parciales o daños estructurales graves, así como una cifra aproximada de 6500 fallecidos, manteniéndose sin precisar el número de personas desaparecidas.

MECANISMOS DEL DOBLE TERREMOTO LA GUAIRA 2026

El terremoto de La Guaira de 2026 ha sido ampliamente documentado en reportes nacionales e internacionales como un sismo doble. De acuerdo con las publicaciones del USGS, el primer evento ocurrió a las 18:04:31 (hora legal de Venezuela) con una magnitud de M_w 7.2 y epicentro cercano a la ciudad de San Felipe, estado Yaracuy; tan solo 32 segundos después, a las 18:05:03, se registró el segundo evento de magnitud M_w 7.5 en el mar Caribe, a unos 20 kilómetros al noroeste del Aeropuerto Internacional de Maiquetía, existiendo una separación epicentral entre ambos de aproximadamente 140 kilómetros.

En la Figura 9 se plantea un modelo del mecanismo desencadenado, el cual sugiere que no se trató de dos terremotos independientes, sino de una única liberación de energía que generó dos pulsos sísmicos principales separados por un intervalo de 32 segundos. Bajo esta hipótesis, se habría inducido un proceso de acumulación de tensiones a lo largo de una franja paralela o coincidente con el sistema de la falla de San Sebastián, cuya ruptura inicial se produjo en el denominado Sismo 1. Esta rápida redistribución de esfuerzos en una masa rocosa que se encontraba al límite de su resistencia provocó la falla subsiguiente en el Sismo 2, situado en el extremo opuesto, implicando una velocidad de propagación de la liberación de tensiones de 4.375 m/s.

La zona de ruptura total abarcó una franja estimada entre 130 y 175 km de longitud por 20 a 30 km de ancho, extendiéndose a profundidades focales de entre 10 y 15 km. Las evidencias geodésicas y sismológicas confirman que ambos eventos estuvieron físicamente acoplados dentro del mismo marco tectónico.

Generación de ondas por el doblete sísmico

Las vibraciones generadas en el epicentro de un sismo se propagan mediante una secuencia caracterizada por distintas velocidades y modos de deformación. En primer lugar se transmiten las ondas primarias o compresionales (P), las cuales presentan la mayor velocidad de propagación y un movimiento de carácter longitudinal (se comprimen y expanden a la manera de un resorte); aunque suelen ser las menos dañinas para las edificaciones, su llegada temprana actúa como una señal de alerta previa. A continuación arriban las ondas secundarias o de cizalla (S), cuyo movimiento transversal en forma de zigzag somete a las estructuras a importantes esfuerzos de corte. Finalmente, cuando las ondas P y S alcanzan la superficie terrestre, se originan las ondas superficiales (Rayleigh y Love): las primeras avanzan en el plano vertical simulando el movimiento ondulatorio del mar, mientras que las segundas se desplazan horizontalmente en un patrón serpenteante. Por su severo impacto y por el efecto de corte que imponen directamente sobre los sistemas de fundación, las ondas superficiales son catalogadas como las más destructivas (Udías y Buforn, 2017).

En la Figura 10, el epicentro S1 (M_w 7.2) se origina por la fractura de la corteza terrestre y la consecuente liberación de tensiones en el macizo rocoso, proceso que muestra continuidad hacia el epicentro S2 (M_w 7.5), cuya magnitud se asocia a una longitud de fractura del orden de los 140 km, equivalente a la distancia entre ambos epicentros. El desfase temporal de 32 segundos entre los dos eventos corresponde a una velocidad de propagación de la fractura cortical de 4375 m/s.

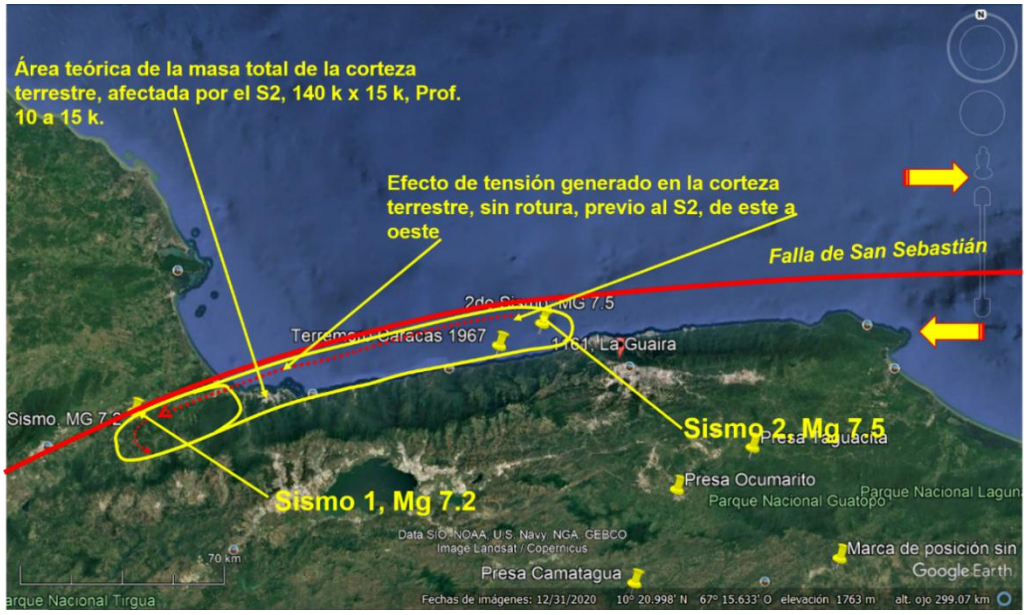


Figura 9. *Esquema del desarrollo del sismo doble. Efecto de tensión límite de la placa tectónica se desarrolló de este a oeste, y que una vez que ocurre el Sismo 1, ocurre la grieta en la corteza terrestre hacia el Sismo 2.*

Por su parte, las ondas primarias (P) del sismo S1, generadas a una profundidad de entre 10 y 15 km, se desplazan a una velocidad aproximada de 6000 m/s, alcanzando las zonas afectadas en un tiempo no mayor a 23 segundos. Las ondas secundarias (S) del mismo sismo S1, con una velocidad superior a 4000 m/s, arriban en un lapso no superior a los 35 segundos. Al registrarse la ruptura del sismo S2 a los 32 segundos, la cercanía de su epicentro a La Guaira y Caracas hace que el tiempo de llegada de sus ondas primarias sea casi inmediato (estimado en unos 5 segundos), por lo que las ondas P del sismo S2 inciden en menos de 37 segundos, coincidiendo de forma ortogonal con el arribo de las ondas S del sismo S1.

En síntesis, la secuencia temporal en la zona afectada se caracteriza por la llegada de las ondas P (S1) a los 23 s, seguida a los 35 s por las ondas S (S1) e, inmediatamente, por la superposición de las ondas P y S de S2 hacia los 40 s, antecediendo al arribo de las ondas superficiales. De este modo, las estructuras estuvieron sometidas inicialmente a las ondas P del primer sismo en sentido oeste-este; a continuación, sufrieron el efecto combinado de las ondas S (S1) y P/S (S2) en dirección norte-sur (con probables componentes hacia el sureste); y, finalmente, recibieron el impacto de las ondas superficiales de ambos eventos. Esta compleja interacción provocó en el terreno y en las edificaciones un movimiento ondulatorio acoplado con un patrón de avance en forma de «ocho» o infinito.

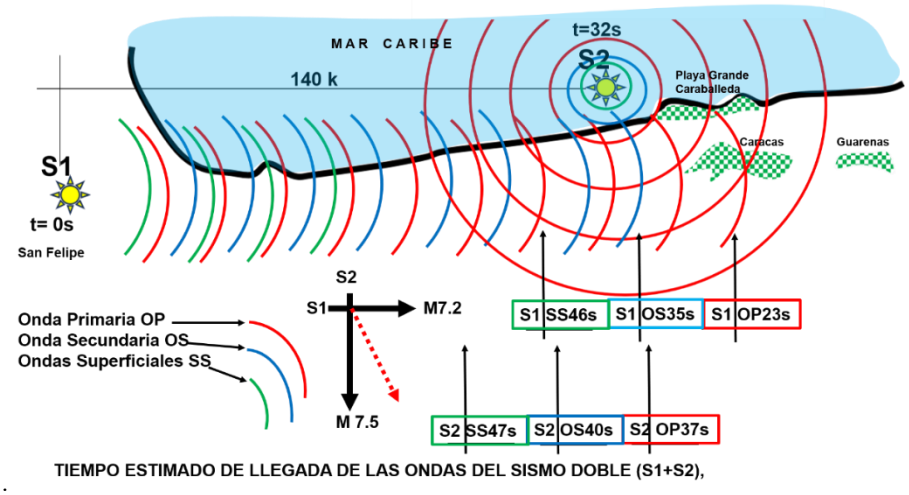


Figura 10. *Tiempo estimado de la llegada de las ondas del sismo doble. Impactos de las ondas OP-S1, a los 23s, seguida entre los 35 a 40s de las OP-S2+OS-S1. A partir de los 45s llegan las ondas SS de los sismos S1 y S2.*

Desplazamiento del terreno

El mapa elaborado mediante la técnica InSAR por el equipo científico de la misión NISAR (NASA-ISRO) en el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL), a partir de interferogramas adquiridos entre el 13 y el 30 de junio de 2026, muestra los patrones de deformación coseísmica de la superficie terrestre producidos por el doblete sísmico de La Guaira (NASA, 2026; Figura 11). En dicha cartografía, las zonas de mayor gradiente azul identifican un desplazamiento horizontal máximo del terreno de 60 centímetros hacia el oeste, asociado al movimiento de la placa Sudamericana.

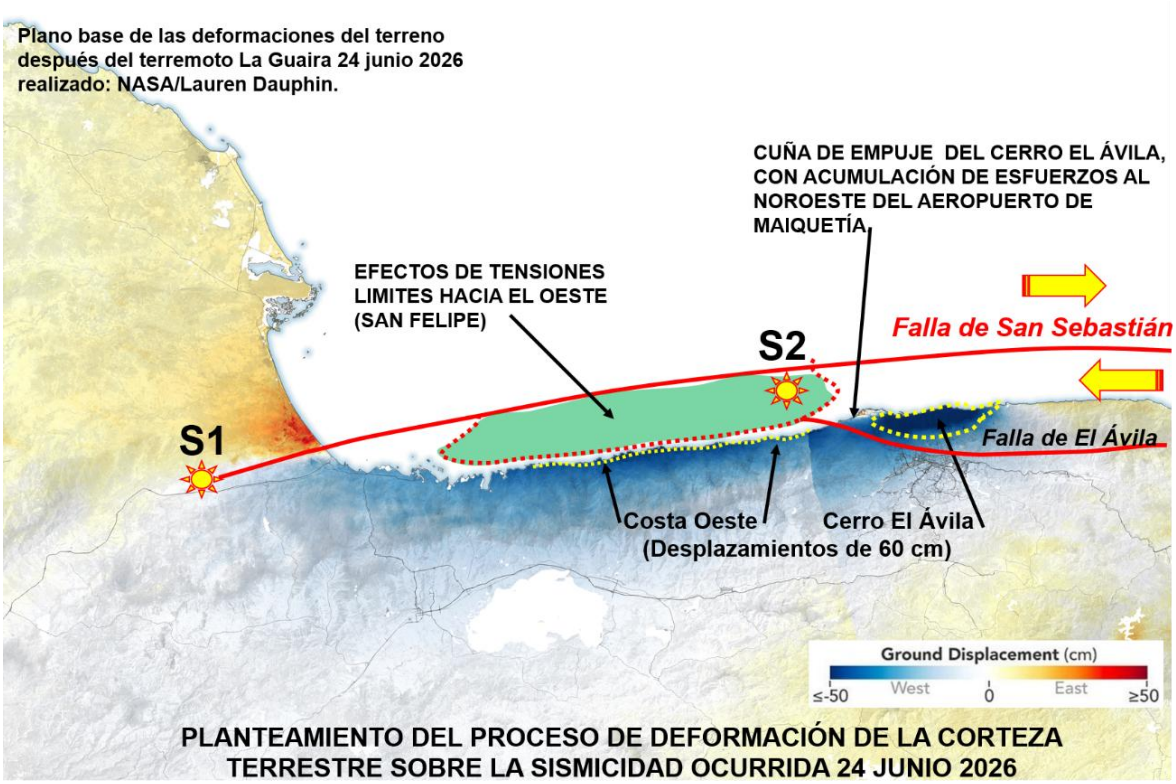


Figura 11. *Esquema del proceso de deformación de la corteza terrestre sobre la sismicidad ocurrida en LA Guaira y Caracas el 24 de junio 2026.*

El análisis interferométrico revela dos franjas principales de deformación de especial significación geotectónica:

1. **Franja Litoral Occidental:** Se extiende a lo largo 40 km de costa en dirección a Puerto Cabello con un ancho no mayor a 500 m, registrando el desplazamiento horizontal del terreno paralelo a la traza sur del sistema transformante de San Sebastián.
2. **Óvalo de Deformación de El Ávila:** Se delimita al sureste de Maiquetía, abarcando el macizo de El Ávila en un dominio de aproximadamente 20 km de longitud por 5 km de ancho. Este patrón ovalado marca una concentrada liberación elástica del macizo montañoso hacia el oeste, disminuyendo progresivamente en magnitud hacia el sur y hacia el este.

Por su parte, las franjas marcadas en tono blanco al este (sector del Aeropuerto de Maiquetía) y al oeste (sector de Morón) corresponden a valores de desplazamiento horizontal mínimo o nulo, definiendo geométricamente los límites de contorno de la zona de ruptura profunda del plano de falla.

Inestabilidad de Laderas y Control Estructural en El Ávila

La reactivación telúrica produjo intensos fenómenos de inestabilidad de laderas a lo largo del frente montañoso de la Cordillera de la Costa. Estos deslizamientos superficiales obedecen a la degradación de la resistencia al corte en los perfiles de meteorización (suelos residuales, coluvios locales y roca descompuesta) ante las elevadas aceleraciones del terreno.

Geomorfológicamente, la masa del cerro El Ávila limita con el valle de Caracas mediante una abrupta escarpa tectónica controlada por la falla de El Ávila. A lo largo de esta traza se aprecian facetas triangulares bien desarrolladas en los espolones montañosos (Figura 12), rasgos característicos que evidencian el control de falla geológica. Durante los trabajos de excavación para la construcción de la Avenida Boyacá (Cota Mil) en las décadas de 1960 y 1970, el trazado expuso brechas de falla arcillo-arenosas que confirman la presencia de esta banda de cizalla.



Figura 12*. Traza aproximada de la falla de El Ávila, que limita el relieve abrupto de la cordillera de la Costa del valle de Caracas. Ejemplo de facetas triangulares que se reconocen a todo lo largo de la traza de falla*

Asimismo, durante la construcción de la Avenida Boyacá (Cota Mil) en la década de 1960–1970, las excavaciones para fundaciones de estructuras expusieron brechas arcillo-arenosas vinculadas a dicha actividad tectónica. Este sistema de fallas de El Ávila ejerce un control topográfico en dirección al valle de la quebrada Tacagua hacia su salida al mar, donde el relieve montañoso finaliza en forma de cuña topográfica entre la terraza del aeropuerto y el sistema de fallas, proyectándose hacia la zona de la falla de San Sebastián (Figura 11). Finalmente, el desplazamiento ovalado de la superficie en El Ávila analizado por la NASA (2026), el cual se manifiesta distante del epicentro, puede explicarse por la acumulación de deformaciones reprimidas en la zona de fallas de San Sebastián, las cuales fueron liberadas durante el sismo S2 mediante un reajuste de tensiones, posiblemente de carácter elástico, en el macizo rocoso.

Consideraciones geológicas de las áreas afectadas.

Aunque la cobertura gráfica sobre el desastre provocado por el doblete sísmico en La Guaira y Caracas muestra un panorama de devastación heterogénea, las inspecciones in situ permiten constatar una importante variabilidad espacial en la respuesta de los terrenos. En una misma franja litoral se observa la coexistencia de edificaciones colapsadas junto a estructuras que permanecieron en pie con daños menores. Zonas de daño moderado o leve, como La Guaira y Macuto, colindan con sectores de destrucción severa como Playa Grande, Camurí Chico y Caraballeda, mientras que en poblaciones situadas más al este, como Naiguatá, la densidad de afectación estructural resultó notablemente menor.

A continuación, se describen los aspectos geológicos de dos sectores con elevado nivel de destrucción: Playa Grande —área vinculada al Aeropuerto Internacional de Maiquetía— y Caraballeda. Dicho análisis interpreta elementos geológicos fundamentados en las prácticas del curso Introducción a la Geología de Campo impartido en 1967, previo al terremoto que impactó a Caracas en ese mismo año y que marcó un importante hito en la formación de los estudiantes de ingeniería de la época.

Aeropuerto de Maiquetía y sector Playa Grande

Durante las actividades académicas de la carrera de Ingeniería en la Universidad Central de Venezuela en 1967, se realizó una salida de campo al sector de Mare y Playa Grande como parte de la asignatura Introducción a la Geología de Campo, cuyas observaciones geomorfológicas se rescatan en la presente investigación. En aquella oportunidad se examinó por primera vez una secuencia de estratos horizontales consolidados de areniscas, lutitas y conglomerados que condicionaban un escarpe topográfico, el cual se iniciaba a nivel del mar y ascendía hasta la cota de 60 m s. n. m., culminando en una extensa terraza. El recorrido a lo largo de la quebrada Las Pailas permitió identificar una secuencia Blanquecina con abundancia de fósiles que se extendía hacia el sur, la cual entraba en contacto con la secuencia horizontal mediante una falla geológica que constituyó el foco principal de la inspección, caracterizada por una delgada brecha con un espesor no superior a los 10 centímetros.

Por su parte, el área donde se emplaza la actual pista principal del aeropuerto correspondía a depósitos coluviales de origen terrígeno con un espesor aproximado de 20 metros. A partir de

estas memorias de campo de hace seis décadas y con el apoyo de imágenes de Google Earth (Figura 13), se han plasmado las cotas topográficas actuales y la red de drenaje que originalmente cortaba el relieve de la amplia explanada sobre la cual se erigen hoy las instalaciones del Aeropuerto Internacional de Maiquetía.

Hacia el este destaca el antiguo cauce de la quebrada Las Pailas, el cual fue canalizado por debajo de la pista principal del aeropuerto, mientras que hacia el oeste se ubica otro cauce orientado inmediatamente al sur de la pista, con una profundidad cercana a los 25 metros a la altura de la cabecera, que en la actualidad cuenta con canalización superficial para el drenaje del sector. Al norte y por encima de la línea de costa sobresale una extensa superficie plana a modo de terraza (situada a la cota 55 m s. n. m.), sobre la cual se erigieron numerosos edificios que resultaron casi en su totalidad destruidos o severamente afectados por el sismo. Al sur de esta terraza se aprecia una fila alargada paralela a la pista con cotas cercanas a los 90 m s. n. m., delimitada por un extenso talud de corte de pendiente suave de donde se extrajeron los materiales empleados en la conformación del área del aeropuerto.

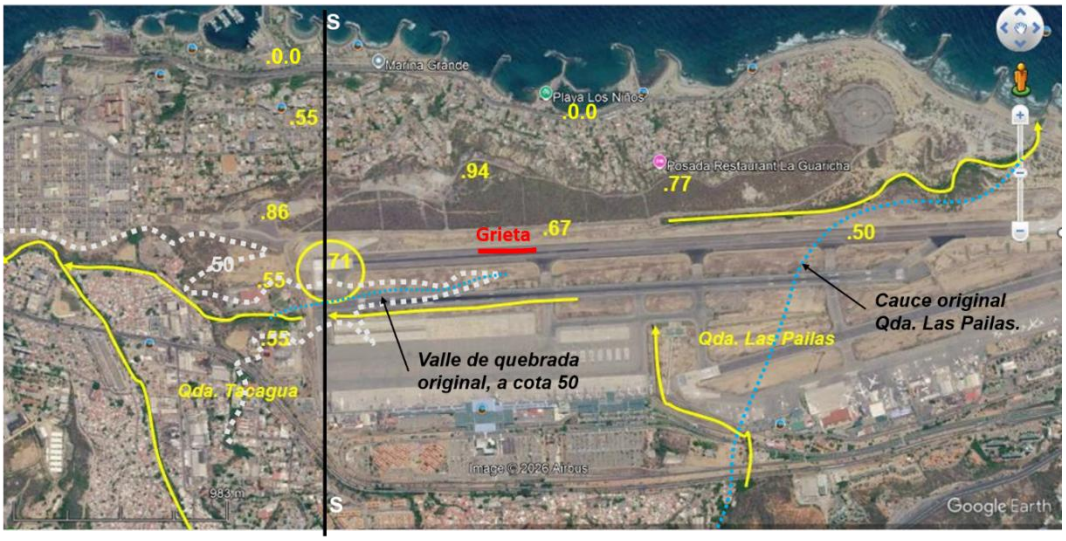


Figura 13. *Imagen Google Earth del área del aeropuerto de Maiquetía y en la parte norte el área de Playa Grande, donde se han indicado las cotas actuales y cauces originales.*

Se elaboró una sección geológica generalizada, para el sector oeste, con una escala exagerada 4(V):1(H), basada en las observaciones geológicas de hace 60 años, pero adaptada a las condiciones actuales (Figura 14).

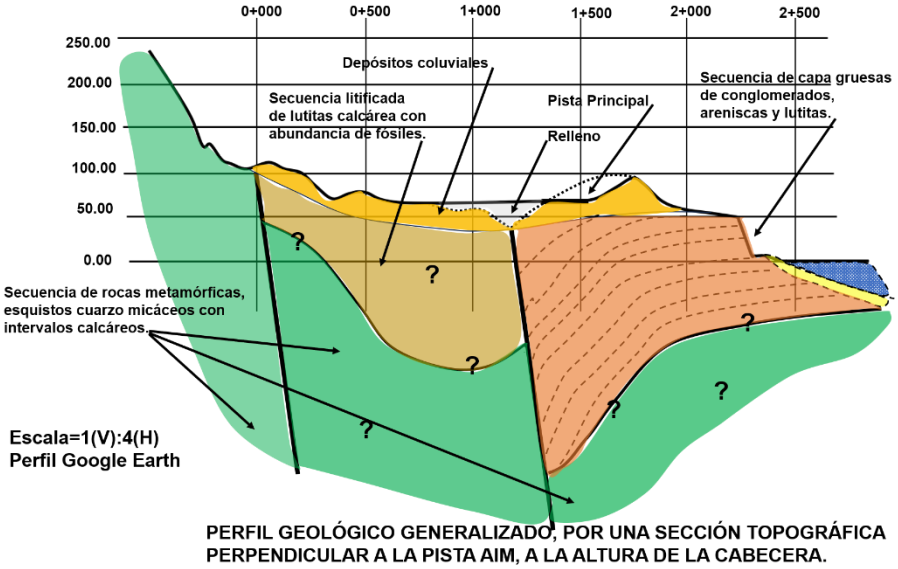


Figura 14. *Perfil Geológico Generalizado, por una sección topográfica perpendicular a la pista internacional de aterrizaje, a la altura de la cabecera oeste.*

En dicha sección se interpretan condiciones geológicas locales representadas por un relieve plano o terraza sustentado por una secuencia de rocas sedimentarias, delimitado al sur por un macizo montañoso de fuerte pendiente dominado por esquistos. Al pie de la montaña discurre la avenida hacia Catia La Mar, a cuyo margen sur se emplazan edificaciones residenciales de cinco pisos y estructuras comerciales que exhiben daños leves o nulos, lo cual genera un marcado contraste con la devastación observada en Playa Grande, inmediatamente al norte del aeropuerto y a una distancia en sentido norte-sur no mayor a los 2500 metros.

El área de Maiquetía se encuentra delimitada al sur por las abruptas pendientes del macizo rocoso correspondiente al pie de monte de la Cordillera de la Costa, las cuales contrastan fuertemente con la topografía acordonada en forma de meseta sobre la que se emplaza el aeropuerto; este relieve puede asimilarse en sección transversal como un cuerpo alargado y de escasa elevación bordeado por el mar Caribe. Dicha configuración evidencia la presencia de controles estructurales por fallas geológicas, observables tanto en los contactos litológicos entre secuencias sedimentarias como al pie del macizo montañoso.

Origen de las grietas en la pista de aterrizaje

En la zona de servicio de la pista principal del aeropuerto se reportó el desarrollo de grietas longitudinales trazadas en zigzag, abiertas y ligeramente deprimidas. Si bien atribuirlas a la traza directa de la falla de San Sebastián es una hipótesis preliminar, la evaluación geomorfológica sugiere mecanismos alternativos o combinados (Figura 15):

1. La respuesta dinámica de la terraza coluvial y sus rellenos ante la deformación ondulatoria del tren de ondas sísmicas (onda P oeste-este seguida por el pulso norte-sur de S2).
2. El efecto de descompresión tectónica y liberación de esfuerzos elásticos asociado al avance cinemático de la cuña de El Ávila.

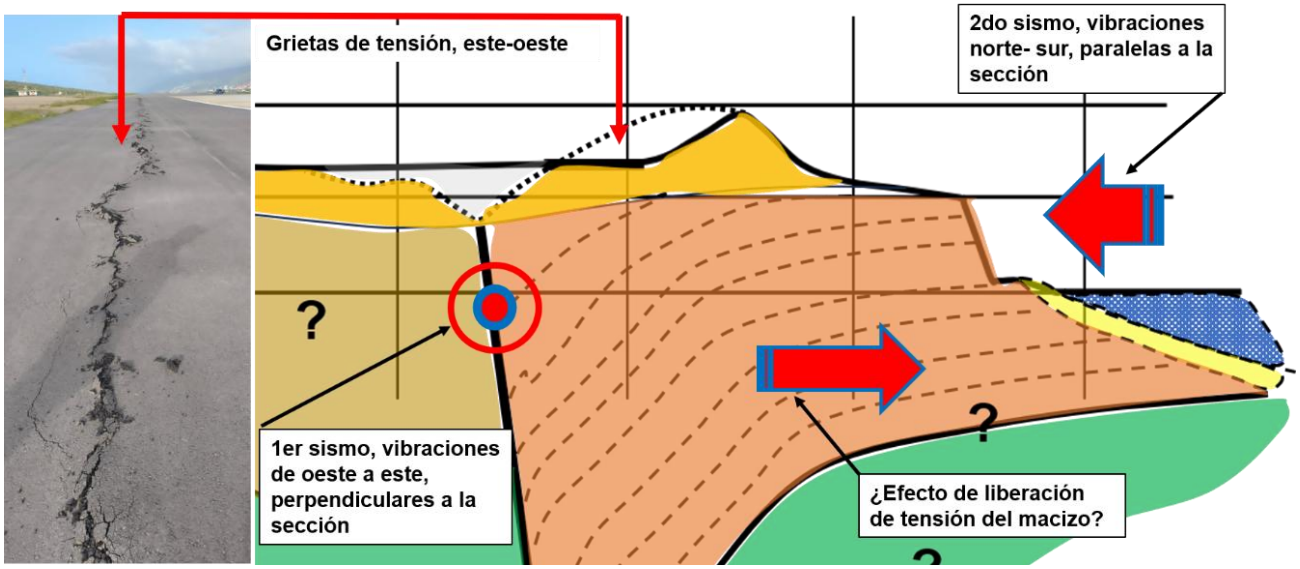


Figura 15. *Mecanismos asociados a las grietas longitudinales a la pista, debido al movimiento terreno por desplazamiento de las ondas, en conjunto con liberación de tensiones asociados al desplazamiento del terreno.*

Camurí Chico- Caraballeda

El sector comprendido entre Camurí Chico y Caraballeda representó uno de los focos de mayor severidad en daños a infraestructuras. Esta franja costera corresponde geomorfológicamente a un extenso cono de deyección aluvial/coluvial asociado a la cuenca del río San Julián y del río Grande (Figura 16).

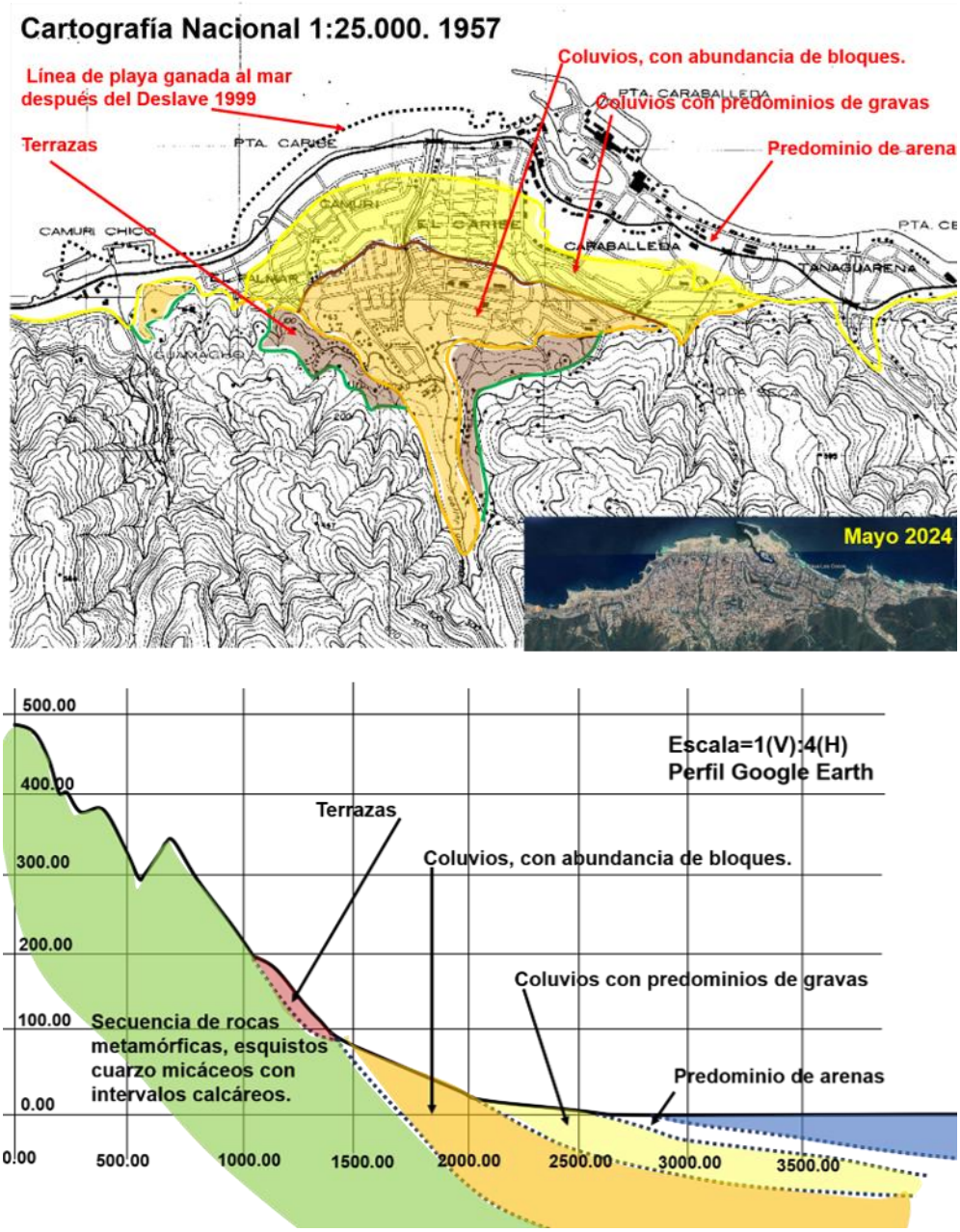


***Figura 16**. Relieve topográfico con curvas de nivel en forma de amplio abanico, que define el cono coluvial del área de Caraballeda. En la parte inferior perfil geológico generalizado.*

Se trata de una zona densamente poblada cuya línea de costa fue modificada por el deslave de 1999 al ganar más de 100 metros mar adentro. Esta nueva franja litoral fue posteriormente aprovechada para el desarrollo de balnearios y una amplia avenida costanera.

Al comparar la base topográfica de Cartografía Nacional de 1957 con imágenes de 2024 en el sector de Caraballeda (Figura 16), se evidencia una notable expansión urbana caracterizada por el asentamiento de altas edificaciones sobre el abanico coluvial. La geomorfología del área corresponde a un típico cono de deyección asociado a la cuenca del río San Julián, constituido por materiales coluviales provistos de alta densidad relativa debido a su proceso de deposición hidráulica; sus pendientes varían desde un 20 % en el pie de monte hasta suavizarse progresivamente al aproximarse al plano aluvial reciente que limita con el mar Caribe. Por su parte, la cuenca del río Grande, de dimensiones similares e inmediatamente al este, exhibe un valle en «V» cuya descarga al mar se caracteriza por un plano aluvial de matriz gravo-arenosa con abundancia de bloques y peñones. En el perfil longitudinal trazado al este del río San Julián [escala 4(H):1(V)] se aprecian variaciones de pendiente condicionadas por el predominio de fracciones gruesas en la secuencia, así como un nivel de terraza a la cota

200 m s. n. m. que podría guardar relación genética con los depósitos antiguos descritos en el sector del aeropuerto.

En este sector, la severidad del daño respondió al fenómeno de amplificación de ondas sísmicas en depósitos coluviales no consolidados, así como a la ocurrencia de procesos de licuación local de suelos en la franja aluvial reciente ganada al mar. El elevado impulso sísmico, acoplado a la interferencia directa de las ondas de corte y superficiales sobre depósitos saturados de gran espesor, acentuó la vulnerabilidad estructural del área; esto derivó en efectos de destrucción sensiblemente mayores a los observados en las zonas donde la roca metamórfica firme se localiza a escasa profundidad.

MODELO TECTÓNICO Y SU RELACIÓN CON EL DOBLETE SÍSMICO LA GUAIRA 2026.

El evento del doble sismo tuvo lugar en el límite transformante entre las placas del Caribe y Sudamericana, caracterizado por un movimiento de cizalla destral a lo largo del amplio sistema de fallas de San Sebastián, el cual no debe concebirse como un trazo rectilíneo único, sino como una extensa zona de deformación y desplazamiento activo que discurre en sentido paralelo a la costa norte de Venezuela. En el contexto de la geodinámica y de la respuesta del terreno, la presente investigación otorga especial relevancia a los patrones de desplazamiento identificados en las imágenes satelitales de la NASA sobre el cerro El Ávila. Este macizo, delimitado en su margen sur por la falla homónima, actúa mecánicamente como una cuña estructural en avance hacia el noroeste, ejerciendo un efecto de interrupción e interacción directa con la amplia traza del sistema de fallas de San Sebastián.

El mapa InSAR evidenció dos patrones principales de desplazamiento de 60 cm, ambos vinculados al proceso de ruptura ocurrido a 10 km de profundidad (Figura 11):

1. **Franja costera Maiquetía – Puerto Cabello:** Se extiende a lo largo de 40 km de longitud por 500 m de ancho, delimitando el desplazamiento horizontal en el borde sur del sistema de la falla de San Sebastián.
2. **Óvalo de deformación en El Ávila:** Ubicado al sureste de Maiquetía, abarca el macizo montañoso en un área de aproximadamente 30 km en dirección este-oeste por 5 km en sentido norte-sur, la cual representa la deformación máxima producida por la liberación de esfuerzos de la cuña montañosa hacia el espacio marino.

La «Cuña de El Ávila» como Traba Estructural

La denominada *Cuña de El Ávila* se consolida como la clave estructural en el comportamiento del doblete sísmico. El frente montañoso, que supera cotas de 2000 m s. n. m., se encuentra bordeado en su flanco sur (hacia el valle de Caracas) por un sistema de fallas geológicas que varía su rumbo de este-oeste a noroeste al adentrarse en el mar, configurando un bloque estructural con proyección a gran profundidad. Al norte, esta cuña se ve restringida por la zona de la falla de San Sebastián, la cual actúa como una traba tectónica o freno a su avance; dicha restricción propició la acumulación continua de tensiones dentro del macizo rocoso, expresada finalmente en el patrón ovalado de desplazamiento detectado por la NASA al sureste del aeropuerto.

La secuencia de los dos grandes sismos (el doblete) confirma la presencia de una ruptura progresiva desplegada en dirección este-oeste dentro de un sistema sometido a tensiones límite. En este proceso, el primer evento (M_w 7.2), localizado en las cercanías de San Felipe, estado Yaracuy, actúa como detonante al liberar tensiones en la zona de la falla de San Sebastián y transferir esfuerzos hacia el oriente; tan solo 32 segundos después, se desencadena el segundo evento (M_w 7.5), situado a unos 20 km al noroeste de Maiquetía. Este último representó la ruptura catastrófica y la liberación brusca de tensión de la cuña de El Ávila, la cual se encontraba atascada dentro del esquema tectónico.

En la Figura 17 se esquematiza el modelo tectónico asociado tanto a la sismicidad histórica como al reciente doblete sísmico:

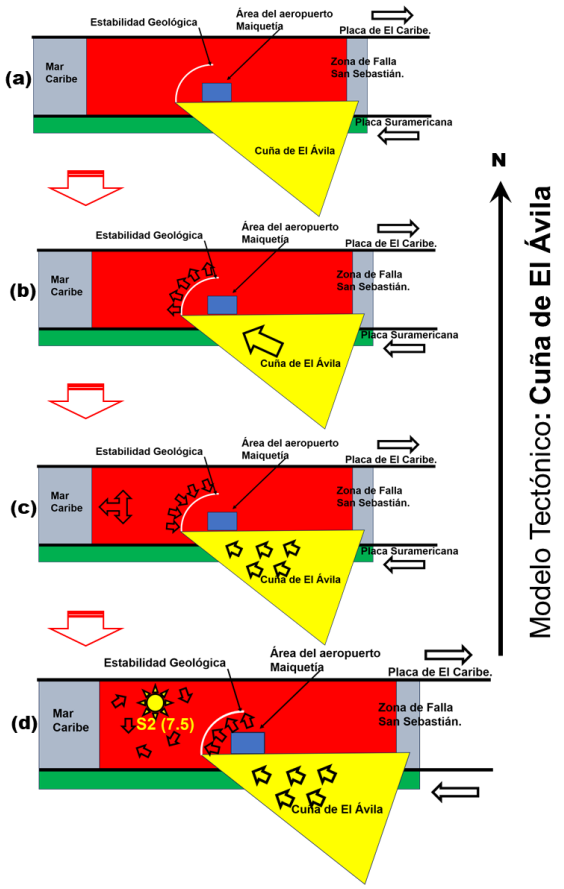


Figura 17. *Esquema del Modelo Tectónico adaptado a los desplazamientos medidos en el terreno, y la relación con el doblete sísmico 24 de junio 2026*

En la figura 17(a) se representa la zona de la falla de San Sebastián mediante una franja roja, flanqueada al sur por un triángulo amarillo que simboliza la cuña de El Ávila y por un cuadro azul delimitado por dicha cuña que simula el área del aeropuerto. Asimismo, una línea curva blanca traza el límite de la costa este, caracterizada por una mayor estabilidad geológica. Por su parte, en la 17(b) se ilustra el avance de la cuña de El Ávila hacia el noroeste, mecanismo que habría favorecido la

estabilidad temporal-geológica hacia la costa oriental, permitiendo la formación de la terraza del aeropuerto, en contraste con una mayor actividad tectónica y erosiva hacia la costa occidental.

En la figura 17(c) ilustra el efecto de compresión ejercido por la cuña de El Ávila hacia la zona de la falla de San Sebastián, proceso que genera concentraciones de esfuerzo y tensión que se transmiten a lo largo de dicha franja tectónica. Finalmente, en la figura 17(d) se representa la ocurrencia del sismo S2 (M_w 7.5), el cual desencadena la liberación brusca de tensiones acumuladas y produce una respuesta elástica en el relieve montañoso de El Ávila, localizada al sureste del Aeropuerto Internacional de Maiquetía.

Distribución de Réplicas y Reacomodo Sísmico

La validez del modelo se ve respaldada por el registro instrumental de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS, 2026), la cual reportó más de 1470 réplicas que se han concentrado en la zona de la cuña estructural (La Guaira/Miranda) y a lo largo del sistema de fallas activado.

La magnitud máxima registrada en este proceso (4.5) y sus honduras focales (entre 4.8 y 9 km de profundidad) confirman un proceso de reacomodo microestructural de los bloques corticales fracturados. Esta liberación secundaria de energía disipa los esfuerzos remanentes tras el evento principal, disminuyendo sustancialmente la tasa de acumulación de tensiones de cara a futuros eventos sísmicos en la zona.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este ensayo se han examinado los diversos factores geodinámicos, morfotectónicos y geotécnicos vinculados al sismo doble de La Guaira de 2026. La aplicación del monitoreo satelital por interferometría de radar (InSAR), integrada a la caracterización litológica e hidrológica de campo, representa un avance fundamental para la geociencia regional. La correlación directa entre los mapas de deformación coseísmica y las estructuras geológicas activas valida la formulación del modelo tectónico de la «Cuña de El Ávila», aportando un marco interpretativo coherente para comprender los eventos telúricos más destructivos registrados en la historia de Venezuela (1812 y 2026).

Conclusiones

1. **Variabilidad Espacial de los daños:** En la franja costera del estado La Guaira, la intensidad del daño presentó una fuerte heterogeneidad condicionada por el ancho y la densidad de los depósitos coluviales progradantes. La mayor destrucción se concentró en Caraballeda y Playa Grande debido a fenómenos de amplificación de onda sobre potentes estratos no consolidados y a licuación local de suelos. En contraste, sectores como La Guaira y Naiguatá mostraron menor severidad al encontrarse restringidos a franjas angostas con soporte rocoso cercano a la superficie. En el valle de Caracas, la destrucción estuvo ligada primordialmente a los espesores de sedimentos y a la respuesta espectral del relleno aluvial.

2. **Asimetría Morfobatimétrica y Litológica:** Tomando como elemento focal la terraza sobre la que se emplaza el aeropuerto de Maiquetía, la línea de costa evidencia un marcado contraste fisiográfico y morfobatimétrico hacia ambos flancos. Hacia el oriente, la costa se presenta escarpada pero interrumpida por conos coluviales, playas asociadas a desembocaduras fluviales y secuencias sedimentarias suprayacentes a las rocas metamórficas, alcanzándose la isóbata de 100 m a unos 10 km de la orilla. Hacia el occidente, el litoral es abrupto y las laderas rocosas exhiben fenómenos de tensión que han impactado la vialidad, alcanzándose profundidades superiores a los 500 m a muy corta distancia de la costa.

3. **Macro-Sismología Histórica y Alineación Epicentral:** Los tres eventos telúricos de mayor trascendencia en la región centro-norte y occidental (1812, 1967 y 2026) exhiben una notable alineación epicentral concentrada en la franja marina al noroeste de Maiquetía (en un radio de 20 a 30 km del litoral). El evento de 1812 y el reciente doblete de 2026 confirman una cinemática de ruptura acoplada entre los sistemas Boconó y San Sebastián. Resulta prioritario para investigaciones futuras proyectar los escenarios de transferencia de esfuerzos hacia el oriente del país a través del sistema transformante de El Pilar.

4. **Relación geomorfológica:** La fisiografía de la Cordillera de la Costa, con rumbo general este-oeste y una inflexión hacia el noreste a la altura de San Felipe, condiciona el modo en que la deformación continental es absorbida por los sistemas Boconó y San Sebastián.

5. **Disipación de Energía y Periodo de Recurrencia:** La formidable magnitud disipada por el evento triple de 1812, sumada a la liberación masiva del doblete de 2026 (que evacuó la energía acumulada durante más de dos siglos), sugiere que la acumulación de tensiones requerida para gestar otro evento catastrófico de similares proporciones en esta franja tomará un periodo prolongado, de escala secular.

6. **Cinemática de ondas y patrón de movimiento:** El primer evento, S1 (M_w 7.2), con epicentro en San Felipe, funcionó como el detonante de un macizo sometido a tensión límite hacia La Guaira. El segundo evento, S2 (M_w 7.5), ocurrió 32 segundos más tarde y propagó la ruptura a una velocidad estimada de 4400 m/s (cercana a la velocidad de las ondas S de S1). El arribo inicial de las ondas P de S1 a los 23 s (dirección oeste-este), seguido por las ondas S a los 35 s en combinación simultánea con las ondas P de S2 (dirección norte-sur) y la posterior superposición de

ondas superficiales hacia los 45 s, explica la percepción de un movimiento terrestre complejo con trayectoria acoplada en forma de «ocho» o infinito.

7. **Magnitud de los desplazamientos InSAR:** Las mediciones del satélite NISAR revelan un desplazamiento máximo del terreno de 60 cm. Este patrón se distribuye en dos zonas definidas: una franja de 500 m de ancho paralela a la costa al oeste del aeropuerto, que se extiende por 40 km hacia Puerto Cabello; y una franja ovalada de deformación de 20 km de longitud por 5 km de ancho localizada en el cerro El Ávila, al sureste de Maiquetía, la cual actúa geométricamente como una cuña orientada hacia el oeste.

8. **Espesor geológico del plano de falla:** Las características geométricas del contacto transformante entre las placas del Caribe y Sudamericana varían sustancialmente según el tipo de litología atravesada. Mientras que en rocas graníticas el ancho de la brecha de falla puede ser inferior al metro, en formaciones altamente tectonizadas o con presencia de brechas arcillosas, como las identificadas durante las excavaciones del túnel de Yacambú, las zonas de cizalla y cizallamiento pueden superar los 1500 m de espesor.

9. **Continuidad del sistema estructural:** La traza del sistema Boconó en la cadena andina no se manifiesta como una línea continua, sino como una banda de fallas en regla paralelas controladas por la litología local. Hacia el dominio marino frente a La Guaira, su extensión en la falla de San Sebastián exhibe una geometría igualmente compleja distribuida en una franja de al menos 30 km de ancho, la cual concentra la actividad micro y macro-sísmica regional.

10. **Mecanismo de la «Cuña de El Ávila»:** Los datos InSAR de la NASA revelaron un desplazamiento coseísmico máximo de 60 cm hacia el oeste distribuido en dos sectores: la franja costera de 40 km hacia Puerto Cabello y el óvalo de deformación de 20 km por 5 km en el cerro El Ávila. El macizo actuó como una traba o freno estructural contra el sistema San Sebastián; el destrabamiento de esta cuña durante el sismo S2 liberó el confinamiento de esfuerzos, proceso corroborado por la concentración de más de 1470 réplicas de reacomodo sísmico en el sector.

11. **Fenómenos de licuefacción:** Las estructuras geomorfológicas correspondientes a conos coluviales y planos aluviales recientes, particularmente aquellas áreas ganadas al mar tras los deslaves de Vargas de 1999, constituyeron franjas susceptibles a procesos de licuefacción de suelos, cuyos efectos se concentraron en infraestructura ligera, vialidad costera y canalizaciones subterráneas.

12. **Origen del agrietamiento de la pista:** El patrón de agrietamiento longitudinal en zigzag reportado en la pista del aeropuerto de Maiquetía se explica como una respuesta combinada: por un lado, la deformación de la terraza ante el paso del tren de ondas y la liberación elástica de esfuerzos del macizo; por otro, la posible interacción directa con trazas secundarias pertenecientes al sistema de fallas de San Sebastián.

13. **Síntesis del modelo:** El análisis articulado de los mapas de deformación por interferometría satelital, la cronología sísmica y la geología estructural regional valida el modelo de la «Cuña de El Ávila» como un marco interpretativo coherente para comprender la dinámica de los eventos sísmicos más complejos e impactantes en la historia tectónica de Venezuela (1812 y 2026).

Recomendaciones

El presente trabajo constituye un ensayo analítico enfocado en la interpretación geológica del origen y los efectos del doblete sísmico de La Guaira de 2026. Más allá de la inspección visual de las estructuras colapsadas versus aquellas que se mantuvieron en pie, se recomienda adelantar evaluaciones de patología estructural, ingeniería forense y respuesta de sitio detalladas por parte de equipos multidisciplinarios de ingeniería forense y geotécnica.

Asimismo, se enfatiza el valor estratégico de la Interferometría de Radar (InSAR) de precisión milimétrica. El monitoreo sistemático mediante estas tecnologías no solo es indispensable para caracterizar la tectónica global y las deformaciones del terreno asociadas a fallas activas, sino que representa una herramienta fundamental de alerta temprana para la gestión de riesgos geológicos adicionales, tales como la inestabilidad de laderas, desplazamientos de masas y movimientos en laderas de alta montaña.

Agradecimiento.

Se le agradece al Ing. Wagdi Naime, por su gran apoyo para publicar el presente ensayo, sobre las enseñanza y aplicación de los conocimientos de la geología, adquirido en la universidad y madurados durante la vida profesional. Las recomendaciones e insistencia del Ing. Naime, desde los primeros borradores presentados, de forma tal de dar un aspecto geológico distinto al evento del doble sísmico, culminó en el presente trabajo, que considero que es un principio del uso de las nuevas tecnologías satelitales como herramienta a problemas geotécnico y de riesgo geológico.

Referencias

Altez, R. (2005). Todo conmovido: El terremoto de 1812 en la sismología histórica venezolana. *Boletín Técnico IMME*, *43*(2), 43-76.

Choy, J. E., Palme, C., Guada, C., Morandi, M., & Klarica, S. (2010). Macroseismic interpretation of the 1812 earthquakes in Venezuela. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *100*(1), 241–255. https://doi.org/10.1785/0120080319

Fiedler, G. (1972). La liberación de energía sísmica en Venezuela, volúmenes sísmicos y mapas de isosistas. En *Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano* (Vol. 4, pp. 2442–2462). Ministerio de Minas e Hidrocarburos.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. (2026, 26 de agosto). *El terremoto de Venezuela: Doblete Mw 7.2 - 7.5 de 2026*. IConstrucción. https://www.iconstruccion.cl/2026/08/26/el-terremoto-de-venezuela-doblete-mw7-2-7-5-de-2026/

National Aeronautics and Space Administration. (2026). *¿Dónde se desplazó la superficie terrestre por los terremotos de Venezuela?* Ciencia de la Tierra de la NASA. https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/donde-se-desplazo-la-superficie-terrestre-por-los-terremotos-de-venezuela/

Schubert, C., Singer, A., & Soulas, J. P. (1983). *Excursión a la Falla de Boconó entre Santo Domingo y San Cristóbal*. Universidad Central de Venezuela, Laboratorio de Geomorfología. https://labgeomucv.ing.ucv.ve/dist/Lexico/excursio/exc-on-83e.htm

Udías, A., & Buforn, E. (2017). *Principles of Seismology* (2.ª ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316155202

U.S. Geological Survey. (2026a, 24 de junio). *M 7.2 - 20 km E of San Felipe, Venezuela*. U.S. Department of the Interior. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zc

U.S. Geological Survey. (2026b, 24 de junio). *M 7.5 - 17 km W of Catia La Mar, Venezuela*. U.S. Department of the Interior. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/173
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 145 – 183

APORTES DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN VENEZUELA – AVANCES Y DESAFÍOS[1]

Michael SCHMITZ [2]

RESUMEN

Este compendio sintetiza los fundamentos, metodología, avances, desafíos y recomendaciones derivadas de los estudios de microzonificación sísmica realizados en Venezuela durante las últimas décadas. Un alto porcentaje de la población venezolana se encuentra asentada en zonas de alta amenaza sísmica. Los estudios de microzonificación sísmica permiten identificar zonas de respuesta similar al movimiento sísmico con el fin de poder ajustar el diseño sísmico de los edificios a los diferentes escenarios dentro de las ciudades y tomar decisiones más acertadas sobre las edificaciones existentes, así como sobre el uso de la tierra para la planificación urbana. En Venezuela se realizaron estudios de microzonificación sísmica en diferentes ciudades del país con variable estado de avance. Si bien en las áreas metropolitanas de Caracas y Barquisimeto, así como en Carora, se finalizaron los estudios, se encontraron dificultades al momento de la aprobación de ordenanzas municipales y su puesta en práctica junto con los planes municipales de gestión del riesgo sísmico. Otras ciudades cuentan con estudios avanzados de la configuración del subsuelo, pero no se han finalizado las evaluaciones de la respuesta sísmica en superficie de las diferentes microzonas sísmicas identificadas. Esto dificulta el uso eficiente de esta información, por lo cual se enfatiza en la necesidad de su finalización y posterior implementación en ordenanzas municipales y planes de gestión del riesgo.

ABSTRACT

Contributions of seismic microzonation to seismic risk mitigation in Venezuela – advances and challenges

This compendium synthesizes the fundamentals, methodology, advances, challenges and recommendations derived from seismic microzonation studies carried out in Venezuela during the last decades. A high percentage of the Venezuelan population lives in areas of high seismic hazard. Seismic microzonation studies allow the identification of zones with similar seismic response patterns to adjust the seismic design of buildings to different scenarios within cities and make more informed decisions regarding existing buildings, as well as land use for urban planning. In Venezuela, seismic microzonation studies have been carried out in different cities throughout the country, with varying stages of progress. While studies have been completed in the metropolitan areas of Caracas and Barquisimeto, as well as in Carora, difficulties arose during the approval of municipal ordinances and their implementation in conjunction with municipal seismic risk management plans. Other cities have advanced studies of subsurface configuration, but the assessments of the surface seismic response of the different identified seismic microzones have not been finalized. This hinders the efficient use of this information, which underscores the need for their completion and subsequent implementation in municipal ordinances and risk management plans.

Palabras clave: Microzonificación sísmica, efectos de sitio, mitigación del riesgo sísmico, ordenanzas municipales, Venezuela
Keywords: Seismic microzonation, site effects, seismic risk mitigation, municipal ordinances, Venezuela

INTRODUCCIÓN

Justificación

Por su ubicación en el límite de las placas del Caribe y de Suramérica, gran parte del norte de Venezuela está sujeto a una moderada a alta amenaza sísmica, proveniente de las fallas tectónicas y la sismicidad asociada, la cual se ve reflejada en los mapas de zonificación sísmica de la norma COVENIN 1756-1 vigente (COVENIN, 2019). Los referidos mapas representan los movimientos sísmicos en roca; sin embargo, las ondas sísmicas pueden sufrir modificaciones importantes en amplitud, duración y contenido de frecuencias cuando llegan a la superficie, en especial si se trata de cuencas sedimentarias, situación en la cual se ubican la mayoría de las ciudades en Venezuela y otras partes del mundo.

La metodología aplicada en los proyectos de microzonificación sísmica contempla la evaluación del peligro sísmico en roca y la respuesta en superficie. En estos estudios se integra la información existente del subsuelo con los resultados de nuevas mediciones geofísicas y evaluaciones geológicas y geotécnicas en campo. Para la respuesta en superficie de las diferentes situaciones evaluadas se desarrollan perfiles para el cálculo de la respuesta dinámica mediante

[1] Compendio del Trabajo de Incorporación Académica (TIA) ante la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH), como requisito parcial para optar a su incorporación como Miembro Correspondiente Extranjero.

[2] Profesor e investigador, Universidad Simón Bolívar - USB, Universidad Central de Venezuela – UCV (jubilado), Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas – FUNVISIS (jubilado), Caracas, Venezuela. E-mail.: schmitzschutt@gmail.com

análisis lineal equivalente, tomando en cuenta la calidad del suelo somero (Vs30) y del espesor de los sedimentos hasta el basamento sísmico (H); con esta información se definen las microzonas de similar respuesta sísmica (Hernández et al., 2006). Dependiendo de las condiciones locales se estudia además el peligro de deslizamiento de laderas provocado por el terremoto, el peligro de licuación del suelo y las deformaciones permanentes asociados a la ruptura de fallas en superficie. Los resultados finales de los estudios de microzonificación sísmica se implementan en ordenanzas municipales y planes de gestión del riesgo sísmico para su mitigación.

El análisis de la amenaza sísmica con efectos de sitio y análisis de recurrencia de intensidades en Caracas, que sugiere que un futuro sismo probable tendría intensidad entre 7.5 y 8 y podría ocurrir entre 2024 y 2060 con expectación hacia 2045 (Hernández y Schmitz, 2023), evidenció la necesidad de emprender un esfuerzo de mitigación del riesgo sísmico que bien puede durar dos décadas. Para ello deben priorizarse el tipo de construcciones y las zonas a atender, tal como se indica en dicho estudio.

Motivación

Sitios con espesores grandes de suelo, como cuencas sedimentarias en las cuales se asientan muchas ciudades, son sujetos a amplificación del movimiento del terreno en comparación con los sitios en roca (e.g. Aki, 1993). Estas modificaciones de las ondas sísmicas por las condiciones geológicas se ven influenciadas por la forma y el contenido de las cuencas sedimentarias, es decir, el espesor sedimentario, las velocidades de propagación de las ondas sísmicas (sobre todo las ondas de corte), tanto en la parte somera (e.g. Boore, 2004), como profunda.

Para estimar las características de las cuencas, y con ello los efectos de sitio, se pueden utilizar diferentes métodos geofísicos, entre los cuales destacan los métodos sísmicos, gravimétricos y métodos que aprovechan las vibraciones ambientales o microtremores (e.g. Nakamura, 1989; Bard, 1999; Louie, 2001).

El espesor de los sedimentos cuaternarios (H) y sus parámetros (velocidades de onda de corte - Vs), así como como la calidad del suelo somero (Vs30 - la velocidad promedio de las ondas de corte en los primeros 30 m), que afecta significativamente la respuesta sísmica, son la base para la evaluación de las respuestas sísmicas en superficie y la construcción de espectros de diseño, mediante análisis de sitio, ajustados a las diferentes microzonas sísmicas de una ciudad.

Como precursores de la microzonificación sísmica en Venezuela pueden considerarse los estudios realizados posteriores al terremoto de 1967 debido a la concentración de los daños en las cuencas en Caracas y en el Litoral. Mediante investigaciones sísmicas posteriores al sismo se pudo determinar la profundidad de los sedimentos en el valle de Caracas con 300 m en Los Palos Grandes y 120 m en San Bernardino (Murphy et al., 1969). Se determinó la importancia de la relación entre la altura de los edificios y los períodos fundamentales de suelos, que alcanzan 1.6 en la parte más profunda del valle, afectando edificios de más de 14 pisos (Seed et al., 1970; Seed y Alonso, 1974), derivando en una primera microzonificación sísmica de Caracas (Alonso, 1957; Alonso y Larotta, 1977), Mérida (Alonso, 1976) y Caraballeda (1978).

Estudios piloto de microzonificación sísmica se realizaron entre 1992 y 1994 en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM) en colaboración entre FUNVISIS, PDVSA-INTEVEP y el CETE-Méditerranée de Nice (Francia) (e.g. CETE Méditerranée, 1993; Duval et al., 1995). Estos estudios se centraron en áreas como Tía Juana y Lagunillas y tuvieron como objetivo principal calibrar un método experimental para evaluar la respuesta dinámica del suelo frente a terremotos, además de mapear los riesgos sísmicos.

A raíz del Seminario para conmemorar el 30 aniversario del terremoto de Caracas de 1967 llegaron en 1997 investigadores de Francia y del Japón a Venezuela y realizaron mediciones de ruido ambiental. Para Caracas determinaron que los periodos más largos coincidían con las zonas de mayor acumulación de sedimentos (1-1,6 s en Los Palos Grandes), mientras los periodos bajaron a 0,2 s en roca (Abeki et al., 1998a; Duval et al., 1998).

En Cumaná se realizaron posterior al sismo de Cariaco de 1997 mediciones de ruido ambiental (Abeki et al., 1998b), pudiendo correlacionarse los periodos predominantes mayores a 1 s con los sedimentos deltáicos del río Manzanares y los depósitos marinos costeros. Debido al gran volumen de daños se realizaron en Cariaco mediciones de ruido ambiental (Masaki et al., 1999); los períodos predominantes reportados varían desde valores de 0,1 s en la parte rocosa hasta valores de 0,4 s en la parte norte de la cuenca. Mediante 12 perforaciones geotécnicas hasta 22 m de profundidad se determinó la naturaleza del subsuelo como suelos blandos degradables sísmicamente saturadas con alto potencial de licuación (De Santis y Hernández, 1999).

Posteriormente, en Venezuela se realizaron estudios de microzonificación sísmica en varias ciudades, iniciando en los años 2005-2010 con el "Proyecto de Microzonificación Sísmica en las Ciudades Caracas y Barquisimeto", cuyos resultados finales han sido implementados en ordenanzas municipales en Caracas y Barquisimeto. Los avances de estos estudios se reportan en detalle en este trabajo.

Los resultados de los proyectos de microzonificación sísmica podrían contribuir considerablemente a la mitigación del riesgo sísmico si son tomados en cuentas en el diseño de nuevas construcciones y su ubicación dentro de la ciudad (planificación urbana), así como en la evaluación y eventual reforzamiento sismorresistente de edificaciones existentes.

Objetivo

El objetivo general del trabajo es la evaluación de los avances de los estudios de microzonificación sísmica realizados en Venezuela y su contribución a la mitigación del riesgo sísmico a nivel nacional, analizando los avances logrados en su implementación y los desafíos pendientes para su aplicación efectiva y extensión a otras ciudades.

AMENAZA SÍSMICA EN VENEZUELA

Sismicidad

La geodinámica de Venezuela está caracterizada por la interacción de las placas del Caribe y Sudamérica, lo que ha dado lugar a la formación cordilleras y cuencas asociadas.

La placa del Caribe se mueve con una velocidad de ~19,6 ± 2 mm/año hacia el oeste con respecto a la placa Sudamericana (e.g. Pérez et al., 2018; Figura 1).

La sismicidad en Venezuela coincide con las zonas de fallas activas y fajas de deformación (Audemard et al., 2000; Figuras 1 y 2). La mayor parte de la sismicidad es somera (en los primeros 20 km (Figura 2), asociada a la ubicación de las fallas activas, con mayor actividad en el Oriente del país y en los Andes de Mérida.

En la sismicidad profunda destacan dos zonas de elevada sismicidad, en el oeste el Nido de Bucaramanga con sismicidad a una profundidad alrededor de 150 km y en el este el llamado "Paria Cluster" a una profundidad de unos 70 km (Bezada et al., 2010; Audemard et al., 2025). Otra zona de sismicidad intermedia-profunda entre 50 y 150 km de profundidad está asociada a la subducción de la placa del Caribe debajo del noroeste de Sudamérica (Van der Hilst y Mann (1994).

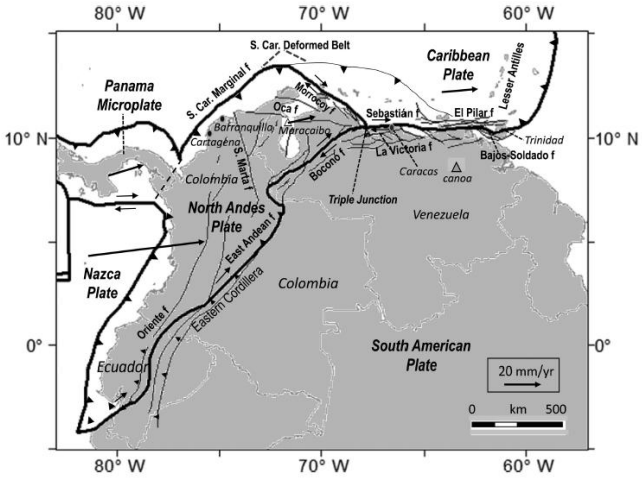


Figura 1. Configuración tectónica del sur de la placa del Caribe y del norte de la placa Suramericana (Pérez et al., 2018). El bloque Norandino (placa Norandina según estos autores) es importante para la dinámica en el noroeste de Venezuela.

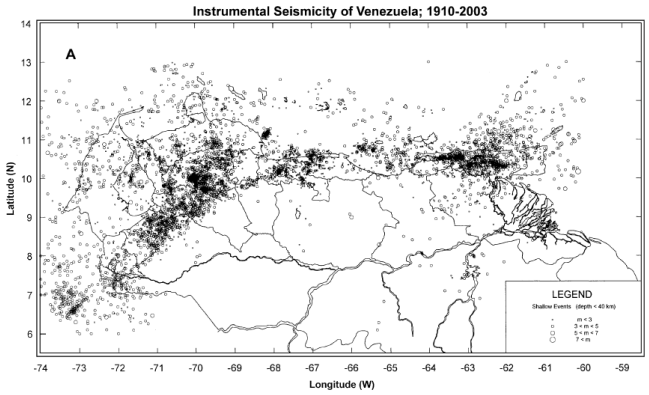


Figura 2. Sismicidad (fuente: catálogo de FUNVISIS) de eventos someros (menos de 40 km de profundidad) en Venezuela (Audemard et al., 2005).

Amenaza sísmica

Los mapas de amenaza sísmica forman la base para las normas sísmicas; se desarrollan en el tiempo debido al avance en el conocimiento de las fuentes sismogénicas y en la metodología de su evaluación. Las dos normas más recientes, la Norma Venezolana de Edificaciones Sismorresistentes (COVENIN 1756, 2001) y de la actualmente vigente Norma Venezolana de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756, 2019) expresan la amenaza sísmica en roca (Figuras 3 y 4).

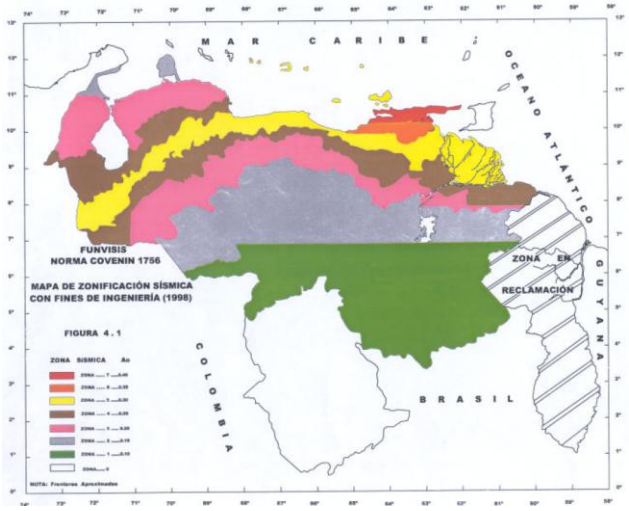


Figura 3. Mapa de zonificación sísmica de la norma COVENIN 1756 (2001).

En la norma COVENIN 1756 (2019) se define A0 como el coeficiente de la aceleración horizontal del terreno en la clase de sitio referencial para un periodo medio de retorno de 475 años para construcciones comunes. La clase de sitio referencial es la clase de sitio BC con Vs30 de 760 m/s en condición topográfica leve, lo que corresponde a un sitio clasificado como roca sin efectos topográficos. Además, se definen dos mapas con los coeficientes A1 (aceleración para periodo estructural de 1 s) y el período de transición TL.

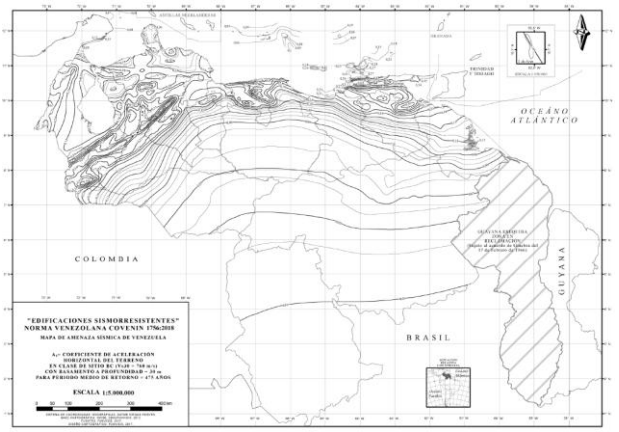


Figura 4. Mapa del parámetro A0 de la norma COVENIN 1756 (2019).

El análisis de la amenaza sísmica se basa en un modelo sismogénico que identifica las fuentes sísmicas como un catálogo sismológico instrumental (Rendón et al., 2014), en terremotos históricos ocurridos en el país (Hernández, 2009b) y una base de datos de fallas tectónicas (Paolini et al., 2012); véanse detalles en Hernández y Schmitz (2019). Estas características quedan plasmadas en un conjunto de parámetros sismogénicos siguiendo la metodología propuesta por Esteva (1967) y Cornell (1968).

Los sitios de ubicación de las construcciones deben clasificarse de acuerdo con las características del terreno y se deben emplear los factores de sitio indicados en la norma COVENIN 1756 (2019) a los fines de la construcción de los espectros de respuesta para el diseño de las edificaciones.

MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

Normativas y políticas de gestión del riesgo

La Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009) establece el marco general de las políticas públicas en materia de gestión de riesgos. Como obligaciones del estado define 1) garantizar que las acciones propias de la ordenación del territorio y de la planificación del desarrollo a todos los niveles de gestión, eviten potenciar o incrementar las condiciones de vulnerabilidad o de amenazas en el país, 2) propiciar la ejecución de acciones orientadas a la reducción de la vulnerabilidad existente y 3) fortalecer las actividades de prevención, mitigación y preparación en todas las instancias de gobierno, así como en la población. Para su funcionamiento ordena la creación de consejos y gabinetes de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos a nivel nacional, estadal y municipal.

El marco legal para fortalecer las capacidades institucionales requeridas para las labores de reconstrucción ante la ocurrencia de desastres en el territorio nacional lo da la Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (2001), que regula la organización y funcionamiento de la Organización de Protección Civil y Administración de Desastres en el ámbito nacional, estadal y municipal.

En la Norma Venezolana de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756, 2019) se establecen los criterios y procedimientos mínimos para el análisis, diseño y evaluación de edificaciones tipificadas sujetas a la acción de movimientos sísmicos, así como las acciones sísmicas que deben ser aplicadas a todo tipo de construcciones según su desempeño esperado. En el capítulo Amenaza sísmica se presentan los mapas con los parámetros a ser aplicados en cada sitio de Venezuela.

Organismos responsables

El organismo rector en la materia es la Dirección Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (Protección Civil), así como sus direcciones estadales y municipales. En el Sistema Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres están integradas las instituciones Protección Civil, los Bomberos, la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (FANB) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Protección Civil, Bomberos y la FANB se enfocan en las actividades preventivas, comunitarias y en la respuesta y coordinación de emergencias, trabajando articuladamente ante eventos sísmicos. FUNVISIS es la institución oficial encargada de la investigación científica en sismología e ingeniería sísmica y opera la Red Sismológica Nacional para monitorear y reportar la actividad sísmica; además, participa en la divulgación de los conocimientos.

La permisología de construcción es fundamentalmente responsabilidad de las Alcaldías (Oficinas de Urbanismo y de Ingeniería Municipal) para permisos locales como uso de suelo y licencias de obra. Para los estudios ambientales el responsable el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y para la infraestructura vial asociada a las construcciones el Ministerio del Poder Popular para Obras Públicas. Toda la normativa, tal como la norma COVENIN 1756, sigue los estándares establecidos por la Comisión Nacional de Normas Industriales.

Integración de la microzonificación sísmica en el entorno normativo y en la planificación urbana

Las leyes que rigen la planificación territorial son la Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (LOOT) (1983) (posteriormente modificada en los años 2005 y 2006 y derogadas las modificaciones en el año 2007) y la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística (LOOU) (1987) junto con normativas posteriores como la Ley de Tierras Urbanas (2009) y el Decreto de Regularización Integral de la Tenencia de la Tierra de los Asentamientos Urbanos o Periurbanos (2011) que complementan su aplicación en temas específicos sobre todo en asentamientos informales, siendo el Reglamento de la LOOU (1991) una pieza clave para su ejecución. En este reglamento se define qué se considera variable urbana fundamental para urbanizaciones y edificaciones, como uso, densidad poblacional, espacios viales, retiros, alturas y restricciones ambientales o de seguridad. Establece normas técnicas y disposiciones que regulan la subdivisión de terrenos, lotificación, urbanización y construcción y complementa los instrumentos de planificación territorial, lo cual lo convierte en un documento fundamental

para la aplicación práctica de la legislación urbanística en Venezuela.

La Norma Venezolana de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756, 2019) establece criterios y procedimientos para el análisis, diseño y evaluación de edificaciones tipificadas sujetas a la acción de movimientos sísmicos. Se basa en la LOOU (1987), el Reglamento de la LOOU (1991) y en la Ley Orgánica del Sistema Venezolano para la Calidad (2002). Para la revisión de proyectos estructurales y las variables urbanas se remite a los organismos municipales con los procedimientos indicados en las leyes previamente indicadas.

La norma COVENIN 1756 (2009) indica que las ciudades con más de 100.000 habitantes deberán disponer de un estudio de microzonificación sísmica en su territorio y, en caso de existir una microzonificación sísmica avalada por la autoridad competente (en este caso FUNVISIS), los valores de amenaza y los espectros elásticos deben sustituirse por los dados en ésta. Las autoridades municipales deben apoyar a las autoridades nacionales en el desarrollo de las microzonificaciones sísmicas que se planteen en su ámbito territorial, particularmente suministrando toda la información geológica y geotécnica existente en él y velar por la implementación de los resultados de las microzonificaciones sísmicas en decretos u ordenanzas municipales.

FUNDAMENTOS DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Definición y propósito

Estudios de microzonificación sísmica son una herramienta fundamental en la mitigación del riesgo sísmico en áreas urbanas o zonas metropolitanas. Es el proceso de dividir un área geográfica, en zonas más pequeñas (microzonas) que presentan un comportamiento similar ante la ocurrencia de un sismo. El propósito principal es proporcionar información detallada y validada mediante modelos científicos para reducir la vulnerabilidad y mitigar el riesgo sísmico mediante la planificación y el diseño sismorresistente de las construcciones.

Se basa en estudios multidisciplinarios que combinan la geología, la geofísica, la sismología y la ingeniería geotécnica y sismorresistente para caracterizar el subsuelo y su respuesta sísmica en caso de un terremoto. El primer paso es la evaluación de la amenaza sísmica en roca en la zona de estudio. Para poder definir cuánto se amplificaría la vibración del suelo en cada sector específico de la ciudad en comparación con un suelo de roca dura (lo que se llama los "efectos de sitio") se debe estudiar la geología y geomorfología, la topografía, investigar el subsuelo mediante la aplicación de perforaciones geotécnicas y estudios geofísicos, y modelar el comportamiento de las ondas sísmicas para obtener la respuesta en superficie de cada zona específica determinada durante el estudio. Adicionalmente, se determinan los efectos geológicos o inducidos (licuación del suelo, deslizamientos o ruptura de falla en superficie) basado en la amenaza sísmica local.

De esta manera, se puede proveer los parámetros de diseño específicos para cada microzona (espectros de respuesta de aceleración de diseño, factor de amplificación). Esto permite a los ingenieros diseñar estructuras que no entren en resonancia con el período predominante del suelo, lo cual es vital para su seguridad.

Esta información puede ser usada en la planificación urbana y la ordenación territorial (Figura 5) al suministrar información crítica para establecer restricciones de uso del suelo o exigir requisitos de construcción más rigurosos en las microzonas de mayor peligro (donde la amplificación es alta). Igualmente se puede guiar la ubicación de infraestructura vital (hospitales, escuelas, etc.) en las zonas de mejor comportamiento sísmico.

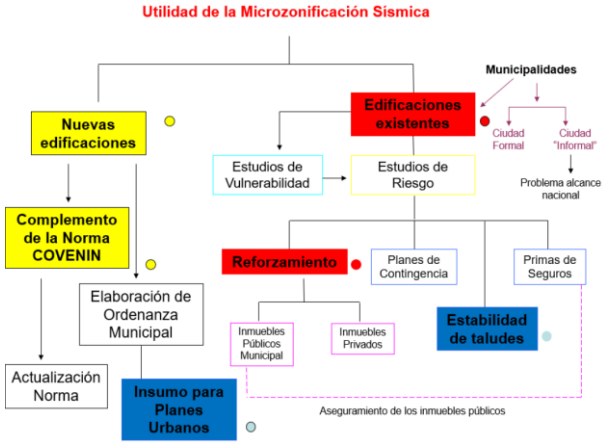


Figura 5. Esquema de uso de los resultados de estudios de microzonificación sísmica para la mitigación del riesgo sísmico (Schmitz et al., 2020a).

Los resultados de la microzonificación sísmica pueden ser utilizados en la gestión del riesgo y la preparación para emergencias como insumo fundamental para la evaluación del riesgo sísmico (cálculo de pérdidas humanas y materiales) en una ciudad. Permiten la elaboración de escenarios de daños (mapas de intensidad y daños probables) necesarios para la planificación de la respuesta a desastres y los planes de evacuación.

Los resultados se presentan en mapas que muestran la respuesta sísmica esperada y el potencial de la ocurrencia de efectos inducidos en las diferentes zonas de la ciudad. Para las diferentes microzonas sísmicas se elaboran las recomendaciones para el diseño.

Metodología de Microzonificación Sísmica

La metodología utilizada en los estudios de microzonificación sísmica se refiere a las diferentes partes de los estudios, tal como la evaluación de la amenaza sísmica en roca, las características del suelo de punto de vista geológico, geofísico y geotécnico (lo que incide en las características de las vibraciones en superficie, su potencial amplificación de las vibraciones por efectos de sitio y la ocurrencia de efectos inducidos como licuación del suelo o deslizamientos) y la

metodología para evaluar la respuesta sísmica en superficie y su delimitación en microzonas de similar respuesta sísmica.

En líneas generales, los estudios de microzonificación sísmica realizados en Venezuela recientemente han seguido la metodología propuesta por Hernández et al. (2006) para los estudios en las ciudades de Caracas y Barquisimeto, en la cual se hace énfasis también en el uso de la información para la gestión del riesgo y el esfuerzo estructural. A continuación, se identifican los detalles para cada parte de los estudios con ejemplos de los estudios realizados en Caracas, resumidos en Schmitz y Singer (2015).

Amenaza sísmica en roca

La amenaza sísmica en roca se establece comúnmente mediante un estudio probabilístico de amenaza sísmica (PSHA - Probabilistic Seismic Hazard Assessment) siguiendo las indicaciones de Esteva (1967) y Cornell (1968). Para ello se analizan las fuentes sísmicas y se condensa la información en un modelo sismogénico (Hernández, 2009a), basado en evaluaciones neotectónicas y paleosísmicas para las fallas activas y un análisis espacio-temporal de la sismicidad.

Una vez determinadas las fuentes sísmicas, se evalúan los patrones de atenuación de las ondas sísmicas desde la fuente hasta el sitio. Como resultado se obtienen estimados de las tasas de ocurrencias de diversos eventos sísmicos (en términos de aceleraciones pico y aceleraciones espectrales) con valores del período medio de retorno (PMR) asociados a las acciones de diseño y el tipo de construcción.

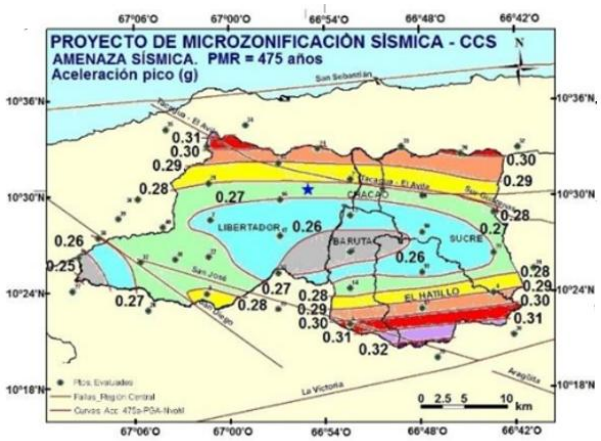


Figura 6. Amenaza sísmica en roca (A0), PMR = 475 años, para Caracas (Hernández y Schmitz, 2023).

Partiendo del mapa de amenaza sísmica realizado para la norma COVENIN 1756 (COVENIN, 2001), en el marco del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas se calculó la amenaza sísmica regional (Hernández et al., 2009), la cual fue actualizada aplicando un nuevo modelo sismogénico y modernas relaciones de atenuación (Hernández y Schmitz, 2023). En la Figura 6 se muestra la amenaza sísmica en roca de Caracas para PMR = 475 años, correspondientes a A0.

Evaluación geológica y geomorfológica

El primer paso de evaluación del subsuelo en la microzonificación es el estudio de la geología y geomorfología del lugar, siendo en muchos casos la diferencia entre la roca y los sedimentos cuaternarios de primer orden para la respuesta sísmica. En Caracas se han realizado evaluaciones de la geología desde los primeros mapas (e.g. Dengo, 1951) hasta los más recientes (Figura 7).

Para el valle aluvional de Caracas se elaboró un mapa con las unidades geológicas y fallas cuaternarias a escala 1:25.000 basado en evaluaciones fotogeológicas de misiones de los años 1936-1938, así como observaciones de campo efectuadas en unas 250 excavaciones sobre las características depositionales. Se utilizó la información litoestratigráfica del banco de datos geotécnicos (Feliziani et al., 2004) para mayor diferenciación de los diferentes cuerpos sedimentarios identificados (Singer et al., 2007; 2023; Figura 8). Esta definición de las diferentes unidades sedimentológicas ha sido utilizada para la delimitación detallada de las microzonas sísmicas, basada en sí en los valores de Vs30.

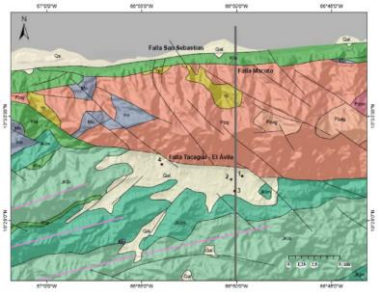


Figura 7. Mapa geológico del valle aluvial de Caracas, rodeado de afloramientos de rocas metamórficas (Schmitz et al., 2020a; modificado de Hackley et al., 2006).

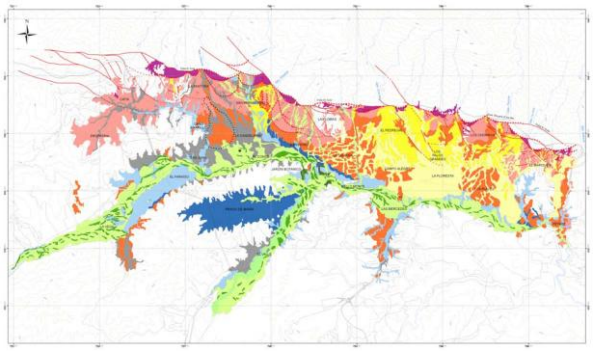


Figura 8. Unidades geológicas y fallas cuaternarias del valle de Caracas (leyenda ver: Singer et al., 2007).

Evaluación geotécnica

La información del banco de datos geotécnicos (Feliziani et al., 2004) fue utilizada en Caracas para la evaluación de los valores Vs30 dentro del valle aluvional. Con el fin de generar u mapa de velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m (Vs30) se aplicó la ecuación de ajuste de la NEHRP (BSSC, 2003; fórmula 1), que convierte los de número de golpes (SPT) de los ensayos geotécnicos a valores Vs, a unas 1000 perforaciones geotécnicas.

$$Vs = 37.86 * N^{0.5757} \quad (1)$$

Los valores obtenidos mediante la conversión de SPT a VS fueron calibrados con mediciones geofísicas.

Evaluación geofísica somera

Para las calibraciones de Vs30 se aplicaron 21 mediciones de refracción sísmica, 16 análisis de ondas superficiales tipo de SASW y 13 mediciones sísmicas de pozos con crosshole y downhole (Kantak et al. 2005; Campos et al., 2004; Morales, 2006; García et al., 2006; Flores, 2006). Para incluir las zonas de laderas, se utilizó una aproximación del valor Vs30 según los valores de la pendiente topográfica (Allen y Wald, 2009), a la cual se aplicó un ajuste (Morales et al., 2011). Los valores Vs30 se ubican en un rango de 185-325 m/s en gran parte del valle, con valores superiores a 325 m/s en el oeste y en partes del este del valle, así como en las zonas de ladera (Figura 9).

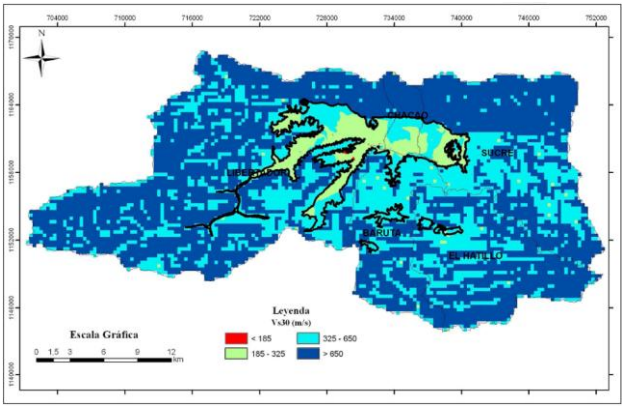


Figura 9. Mapa de Vs30 de Caracas (Morales et al., 2011); la línea negra delimita el área de sedimentos aluvionales.

Evaluación geofísica profunda

Los primeros estudios que permitieron estimar los espesores de sedimentos fueron los estudios sísmicos realizados posterior al terremoto de Caracas de 1967 (Murphy et al., 1969). Kantak (2001) analizó estos datos junto con la recopilación de pozos de agua para determinar los espesores de sedimentos. En el año 2001 se realizaron mediciones sísmicas de gran ángulo para la determinación del espesor de sedimentos (Sánchez et al., 2005a).

Esta información de complementó con unas 2000 mediciones de ruido ambiental en una malla de 250 m aproximadamente para determinar los períodos predominantes del suelo (Rocabado et al., 2006; Figura 10). Los valores de Vs hasta el basamento se corroboraron con mediciones de arreglos de microtremores en 5 sitios en el valle (Cornou et al., 2011).

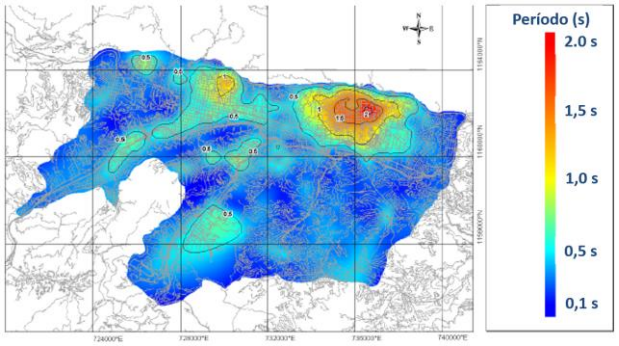


Figura 10. Períodos fundamentales del suelo en Caracas (Rocabado et al., 2006).

Con el fin de tener una visión 3D de la profundidad al basamento se realizaron unas 1500 mediciones gravimétricas que fueron analizadas mediante un modelado 3D para un modelo integrado de los espesores de sedimentos (Amarís et al., 2011a; Schmitz et al., 2023c; Figura 11).

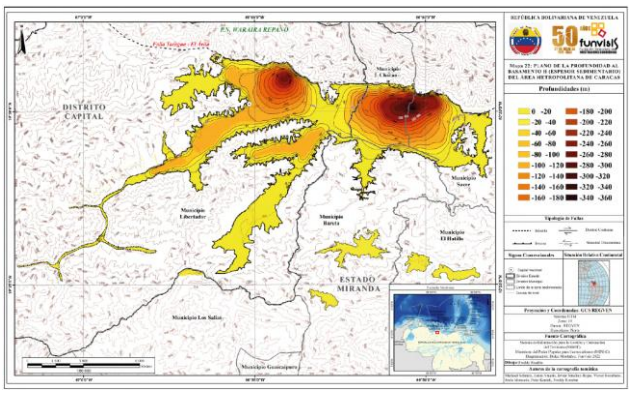


Figura 11. Espesores de sedimentos en Caracas (Schmitz et al., 2019; 2023c).

Espectros de respuesta

Para obtener los espectros de respuesta en superficie se realizó un estudio paramétrico de respuesta dinámica 1D usando análisis equivalente lineal con el programa SHAKE (Schnabel et al. 1972), variando el espesor de sedimentos (entre 10 y 350 m) y la velocidad promedio de ondas de corte de los primeros 30 m (Vs30 entre 150 y 650 m/s), los cuales se agruparon dentro de 12 clases (Figura 12) de acuerdo con su comportamiento típico.

Adicionalmente, se toman en cuenta los efectos 2D y 3D de la cuenca, un factor de terminante en la distribución de los daños del terremoto de Caracas de 1967. Utilizando los espectros obtenidos por Papageorgiou & Kim (1991) para la zona de Los Palos Grandes, se obtuvieron amplificaciones 2D respecto a 1D hasta un período de 2 s, con una ampliación del rango hasta 4 s con los resultados de un modelado 3D de la respuesta sísmica (Delavaud, 2007).

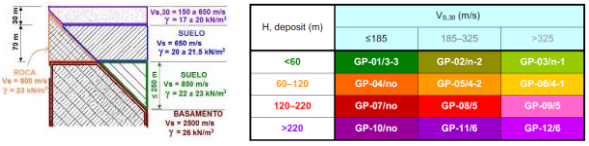


Figura 12. Esquema de velocidades de ondas de corte y peso unitario para el modelo geofísico/geotécnico utilizado para el estudio paramétrico de respuesta dinámica 1-D (izquierda) y grupos de perfiles de suelo genéricos (derecha) utilizados para la respuesta dinámica de sedimentos y las microzonas resultantes asociadas (Schmitz et al., 2020a).

Los espectros resultantes se grafican respecto a los espectros correspondientes de la norma COVENIN 1756 (2001) para los diferentes tipos de suelo (en la Figura 13 se muestran ejemplos de los espectros de los grupos de perfiles de mayor profundidad de sedimentos). Detalles del procedimiento, incluyendo los efectos de topografía, se indican en Hernández et al. (2011) y en Schmitz et al. (2011).

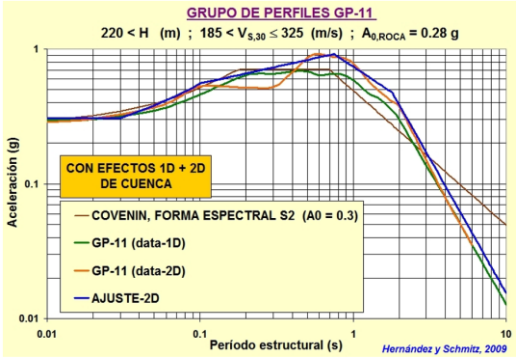


Figura 13. Ejemplo de espectros de respuesta elástica (ξ = 5%) para microzonas con espesor de sedimento de> 220 m (derecha), para VS, 30> 325 m / s (Hernández et al., 2011; Schmitz et al., 2011).

Determinación de microzonas sísmicas

Con el fin de ubicar las respectivas microzonas sísmicas se agruparon los mapas de Vs30 (Figura 9) y de especores de sedimentos (Figura 14) según los grupos de perfiles en la Figura 12. Para la definición de las microzonas de respuesta sísmica similar se añadieron varias fuentes de información, como el análisis geomorfológico, geológico y geofísico de los sedimentos en el valle, el análisis de las rocas expuestas en laderas, la evaluación de la topografía y el análisis de los daños reportados durante el terremoto de Caracas de 1967.

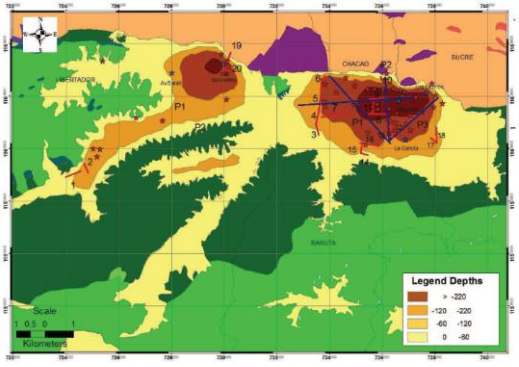


Figura 14. Espesores de sedimentos distribuidos en 4 clases para la definición de microzonas en Caracas (Amarís et al., 2011a).

En la Figura 15 se muestra el mapa final de microzonas con similar respuesta sísmica obtenido para el Área Metropolitana de Caracas (AMC). A cada microzona delimitada se le asigna un espectro de diseño (Figura 13) según su clase de sitio (Figura 12). Esta distribución de microzonas se calibró a través de diferentes variables, tales como perfiles de suelos "reales" de pozos profundos, períodos predominantes de H/V y funciones de transferencia experimental.

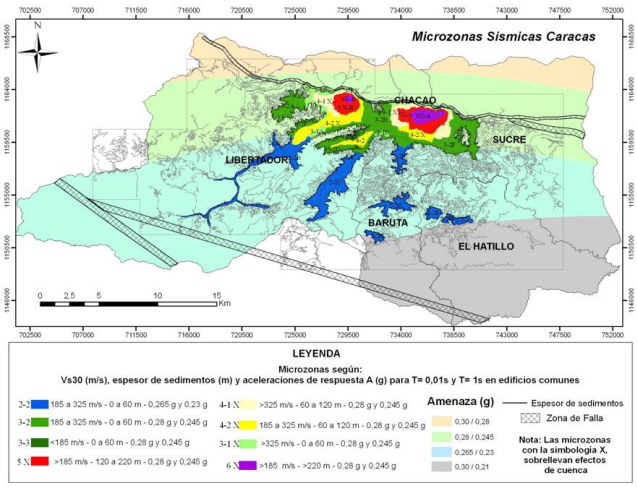


Figura 15. Zonificación de la amenaza sísmica en afloramientos de roca (macrozonas) y microzonas de comportamiento sísmico similar en el AMC (Schmitz et al., 2011).

Aplicación en la gestión del riesgo

Fuera de las áreas sedimentarias, el peligro de movimientos en masa activados por terremotos ha sido evaluado usando información geológica, geotécnica, geomorfológica, de pendientes y modificaciones antrópicas, mediante índices cuantitativos (detalles ver Hernández et al., 2008; 2023). Los resultados (Figura 16) permiten identificar las áreas de mayor prioridad para intervención y para la planificación urbana (ver Figura 5).

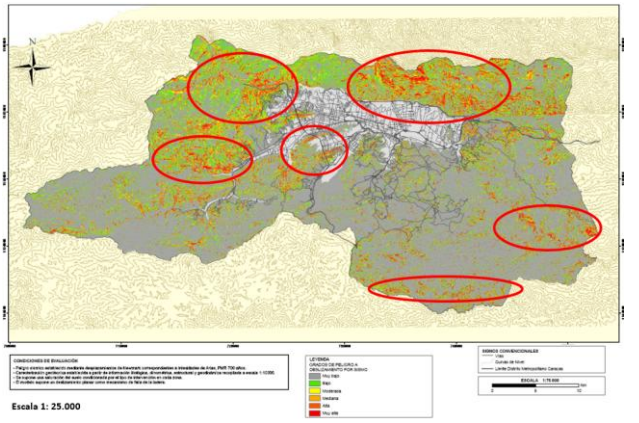


Figura 16. Peligro de deslizamientos por sismos en el AMC (Hernández et al., 2008); las zonas identificadas en rojo presentan regiones de mayor peligro.

Para la toma de decisiones sobre potenciales intervenciones para la mitigación del riesgo sísmico se incluyó la evaluación de edificaciones existentes respecto a su comportamiento estructural típico, orientada a establecer prioridades para su reforzamiento según su localización en las diferentes microzonas (Hernández y Domínguez, 2009). Esta información ha sido incorporada en un Sistema de Información Geográfico (SIG), el cual permitirá la interacción con las instituciones locales y planificadores urbanos para la rápida implementación de las recomendaciones, así como la interacción con las comunidades locales.

AVANCES DE PROYECTOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Área Metropolitana de Caracas

Durante el terremoto de Caracas/Litoral en el año 1967 se dio una concentración de los daños en las cuencas (Los Palos Grandes-Altamira y San Bernardino y Caraballeda) para edificaciones altas, lo que llevó a primeros estudios de la relación espesores de sedimentos – altura de edificios versus daños (Seed et al., 1970; Seed y Alonso, 1974). Murphy et al. (1969) realizaron estudios sísmicos determinando una profundidad de los sedimentos con 300 m en Los Palos Grandes y 120 m en San Bernardino. Mediante análisis de mediciones de ruido ambiental mediante H/V se determinaron periodos de vibración del suelo entre 0,2 s en roca y 1-1,6 s en Los Palos Grandes (Abeki et al., 1998a; Duval et al., 1998). Mediciones sísmicas realizadas en el año 2001 permitieron corroborar los espesores de sedimentos propuestos por Murphy et al. (1969) – cuyos datos originales nunca se publicaron, con definiciones detalladas de las velocidades de propagación de las ondas P y S (Sánchez et al., 2005a).

Se contó también con la información recopilada por el Proyecto Ávila (liderado por el IGVSB/MARNR en los años 2000 y 2003) y por el Estudio sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en los años 2003-2005 (con el financiamiento de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón, JICA). Durante este proyecto se estudiaron varios escenarios para desastres de terremotos (Yamazaki et al., 2005). Sin embargo, como no se pudo explicar la concentración de daños en la cuenca, se solicitó financiamiento en el marco del programa FONACIT- BID II 200400738 para el estudio de microzonificación sísmica de Caracas y Barquisimeto en los años 2005-2009. Para su ejecución, así como para los demás proyectos de microzonificación sísmica desarrollados, se siguió la metodología propuesta por Hernández et al. (2006), la cual se detalla en el capítulo previo con los respectivos resultados, los cuales se exponen en detalle en Schmitz et al. (2009a; 2011; 2020a; 2023c) y en Schmitz y Singer (2015).

Para la implementación de los resultados se iniciaron conversaciones con las direcciones municipales de Ingeniería Municipal, Planificación Urbana y Protección Civil de los 5 municipios del Área Metropolitana de Caracas en el año 2010. Después de definir el contenido de la ordenanza municipal, se sometió la ordenanza del municipio Libertador al concejo municipal en el año 2015. Después de su discusión en el concejo municipal, la primera ordenanza fue publicada en el año 2018 (Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital, 2018), basándose los espectros elásticos en la norma COVENIN 1756 (2001).

En el mismo año se reimpulsaron las conversaciones en los demás municipios del Área Metropolitana de Caracas. Los espectros elásticos y demás artículos en las ordenanzas municipales se ajustaron a las indicaciones de la norma COVENIN 1756 (2019). En el año 2021 se publicaron las respectivas ordenanzas en los municipios El Hatillo (Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio El Hatillo del Estado Bolivariano de Miranda, 2021) y Sucre (Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Sucre del Estado Miranda, 2021). Dada la vigencia de la nueva norma COVENIN 1756 (2019), la ordenanza del Municipio Libertador fue actualizada a las indicaciones de esta norma actualizada (Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital, 2024; Figura 17). En los municipios Chacao y Baruta se iniciaron conversaciones sobre la publicación de las respectivas ordenanzas municipales, sin embargo, aún no han sido discutidas en concejo municipal.

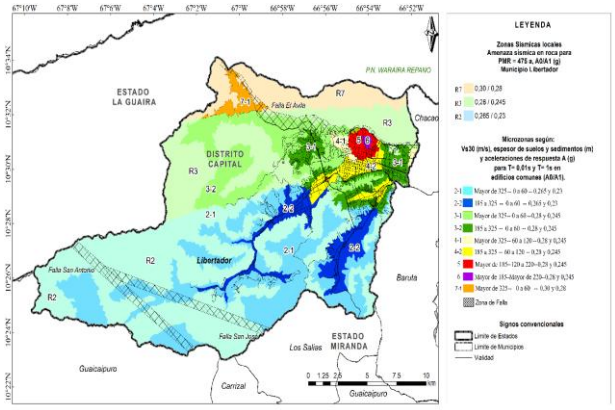


Figura 17. Plano de microzonas sísmicas y fallas tectónicas activas del Libertador.

A cada microzona sísmica se asocia un espectro elástico (por ejemplo: Municipio Libertador; Figura 18) con sus respectivos parámetros. Para la construcción de los espectros de respuesta se toma en cuenta el Período Medio de Retorno (PMR = 475 años para edificaciones comunes) de acuerdo con la microzona respectiva. Se emplearán los factores de importancia para el grupo de importancia y el PMR del proyecto. Se definirán factores de reducción de respuesta R, factores de amplificación de desplazamiento, factores de sobrerresistencia, factores de irregularidad y factores de redundancia en cada dirección de acción sísmica en cada dirección de la acción sísmica, acorde a las características particulares del proyecto (tipos estructurales, materiales y nivel de diseño), según los previstos en la norma COVENIN 1756 (2019).

Las ordenanzas municipales para edificaciones sismorresistentes contemplan la puesta en marcha de planes de gestión del riesgo sísmico, el reforzamiento estructural y sismorresistente. Dentro de estos planes toman un rol importante los mapas de peligro de deslizamientos (ver Figura 16), así como el reforzamiento estructural según la evaluación de vulnerabilidad en las diferentes microzonas de los municipios. En las ordenanzas se indica el orden de Revisión (priorización general) para los estudios de vulnerabilidad de edificaciones con el fin de definir las edificaciones de mayor urgencia para la realización de estudios de vulnerabilidad y su respectivo reforzamiento estructural, si amerita.

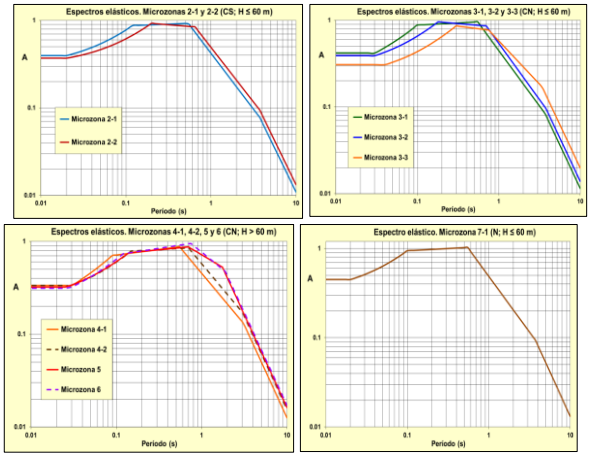


Figura 18. Espectros Elásticos en las Microzonas sobre roca meteorizada y depósitos sedimentarios para PMR = 475 años del Municipio Libertador (Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital, 2024).

Área Metropolitana de Barquisimeto -Cabudare

El proyecto de Microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Barquisimeto -Cabudare se inició junto con el de Caracas en el mismo proyecto. Barquisimeto había sido afectado por terremotos destructivos en varias oportunidades, entre ellas 1812 y en el terremoto de El Tocuyo 1950 (Grases et al., 1999). La información técnica elaborada en las ciudades Barquisimeto y Cabudare ha sido presentada en Schmitz et al. (2009b) y se resume en Schmitz y Morales (2016) y Schmitz et al. (2020b)

La evaluación de la amenaza sísmica se efectuó en términos probabilísticos; como valor promedio se consideró 0,28 g que corresponde a la zona característica de la terraza de Barquisimeto y de la cuenca de Cabudare (Hernández et al., 2016). Además, este valor corresponde al valor expresado para la macrozona Centro-Norte de Caracas (Hernández y Schmitz, 2009; Morales et al., 2015) en el valle sedimentario y permite comparar los espectros resultantes para el Área Metropolitana de Barquisimeto-Cabudare.

Basado en trabajos de fotointerpretación realizados a partir de las misiones 020266 (escala 1:20.000) del año 1968 y la misión 0201106 (escala 1:50.000) del año 1975, completados con trabajos de campo, Bechtold (2004) logró mejorar la delimitación de las unidades cuaternarias.

Mediante el reconocimiento geomorfológico se identificaron las geoamenazas, siendo los vicios de suelo y subsuelo originados por procesos de tubificación – colapso en el tope de la terraza de Barquisimeto y de menor extensión en la planicie aluvial de los ríos Claro y Turbio la principal amenaza (Figura 19). Además, se evaluaron las áreas posibles hacer afectadas por licuación de suelo y las inestabilidades por movimientos gravitacionales originados en el talud sur de la terraza de Barquisimeto (Timaure et al., 2016; Figura 20) y en las laderas adyacentes a Cabudare, así como las amenazas de origen hidrogeomorfológico (Rodríguez y Singer, 2016).

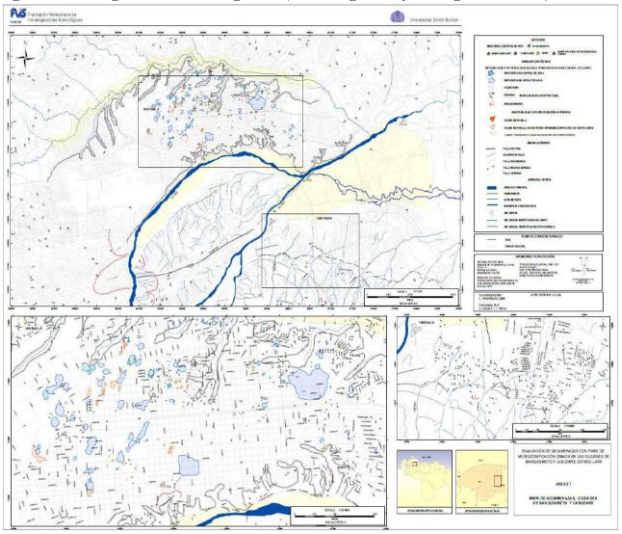


Figura 19. Mapa de geoamenazas sísmicas, geotécnicas e hídricas en las ciudades de Barquisimeto y Cabudare (Rodríguez et al., 2005; Rodríguez y Singer, 2016).



Figura 20. Mapa de susceptibilidad a movimientos de la terraza sur de Barquisimeto (Timaure et al., 2016).

Para la caracterización de los sedimentos se emplearon diversos métodos, tanto geofísicos como geotécnicos, apoyados en su ejecución por trabajos de campo e información existente. La caracterización somera se llevó a cabo mediante empleo de información geotécnica existente (más de 100 ensayos SPT), sísmica de pozos (*downhole*) en dos pozos al basamento sísmico e instrumentado con alelerógrafos (uno en Barquisimeto y uno en Cabudare), exploración geotécnica y análisis de topografía. Mediante los ensayos SPT existentes,

suministrados por la Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado (UCLA), y mediante conversión de N° de golpes a Vs se generó un mapa de Vs30 (García et al., 2016).

Para la determinación de los espesores y las características de los sedimentos profundos que suprayacen a rocas cretácicas de las formaciones Barquisimeto, Bobare y Mamey, se consideró la geología local, así como estudios geofísicos (método de Nakamura o H/V, mediciones gravimétricas, sísmica de refracción profunda y los pozos perforados hasta roca con fines de instrumentación acelerográfica. Del análisis de unas 1200 mediciones de ruido ambiental con el método H/V resultan valores máximos del período fundamental del suelo de 0,8 s y 3,0 s en Barquisimeto y Cabudare, respectivamente, con menores valores hacia el norte y el oeste (Figura 21).

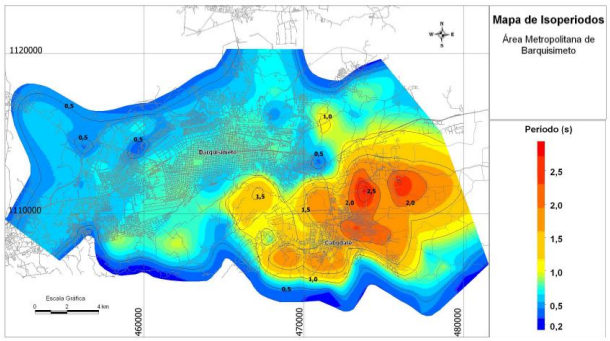


Figura 21. Mapa de períodos fundamentales del suelo del Área Metropolitana de Barquisimeto-Cabudare (Rocabado et al., 2007).

Para determinar la profundidad de los sedimentos se realizaron 5 perfiles sísmicos de hasta 3 km de longitud con explosivos como fuente, lo que permitió determinar las velocidades de propagación de las ondas P y S de los sedimentos y del basamento (Figura 22).

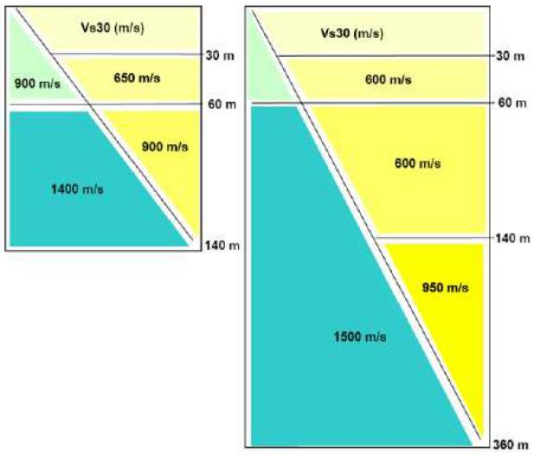


Figura 22. Modelo geológico/geofísico con velocidades Vs para los sedimentos de la terraza aluvial de Barquisimeto (izquierda) y para los sedimentos que rellenan la Cuenca de Tracción de Cabudare (derecha).

Como base para el modelado gravimétrico 3D sirvieron unas 670 mediciones gravimétricos, así como la información de profundidad proveniente de la conversión de períodos (Figura 21) a profundidad, las perforaciones geotécnicas profundas, así como los resultados de la sísmica como control. Se pudieron determinar profundidades del espesor de sedimentos de máximo 140 m en Barquisimeto y cercanas a 400 m en Cabudare (Figura 23).

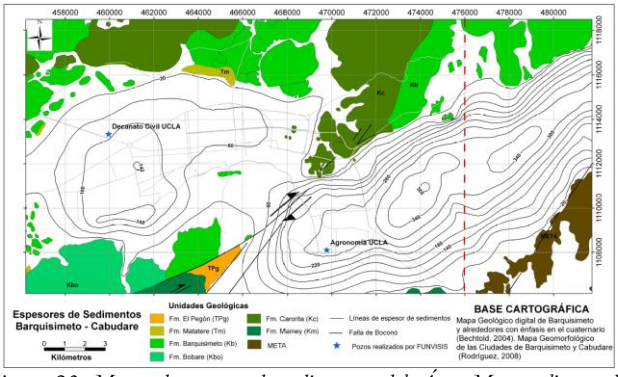


Figura 23. Mapa de espesor de sedimentos del Área Metropolitana de Barquisimeto-Cabudare (Reinoza et al., 2011; Schmitz et al., 2019).

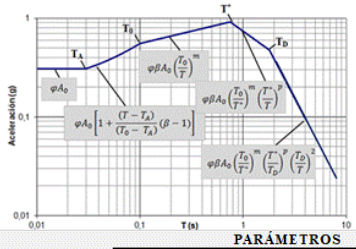
Abreu et al. (2016) estimaron la respuesta sísmica de Barquisimeto a lo largo de perfiles 2D de simulación de propagación de ondas. Los resultados permiten ajustar los espectros de respuesta derivados del análisis 1-D.

La selección de las microzonas de igual respuesta sísmica en sedimentos y laderas se basa en la respuesta sísmica proveniente del estudio paramétrico 1D incorporando efectos de cuenca 2D mediante un análisis lineal-equivalente (Schnabel et al., 1972) según las características de los sedimentos (Figura 22) y su espesor (Figura 23). para la definición de los espectros de cada microzona sísmica se emplearon los valores A0 = 0,28 g y A1 = 0,245 g de la macrozona Centro Norte de Caracas (Hernández y Schmitz, 2009).

La delimitación de las microzonas sísmicas se realizó en función de la calidad del suelo superficial (Vs30) y del espesor de sedimentos (Figura 23), con agrupación de 4 clases de espesores, ajustadas las microzonas a los límites catastrales. Mediante la calibración del modelo de subsuelo con estudios geofísicos y registros sísmicos en los observatorios acelerográficos en Barquisimeto y Cabudare se efectuaron comparaciones con los espectros de respuesta para estas microzonas (Morales et al., 2015). Los espectros (Figura 24) son asociados a cada microzona en el Área Metropolitana de Barquisimeto-Cabudare (Figura 25).

Las respectivas ordenanzas municipales fueron preparadas en conjunto con las respectivas alcaldías y concejos municipales (Schmitz et al., 2017) y publicadas en el año 2018 (Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes del Municipio Iribarren, 2018; Ordenanza de Microzonificación Sísmica del Municipio Palavecino, 2018). Dentro de las ordenanzas, la evaluación de vulnerabilidad de las edificaciones en las diferentes microzonas y su eventual reforzamiento estructural y sismorresistente dentro de los planes de gestión del riesgo toman un lugar importante. Se basan en gran parte en la distribución de las edificaciones en Barquisimeto y

Cabudare (Rojas et al., 2016) y en la evaluación de edificaciones tipificadas (Hernández y Domínguez, 2009) y se realizó la sectorización de las ciudades, siendo de mayor urgencia el reforzamiento de las edificaciones escolares (López et al., 2015).



MICRO-ZONA SÍSMICA	Vs30 (m/s)	H (m)	PARÁMETROS								
			A_0 (g)	φ	β	T_A (s)	T_0 (s)	T* (s)	T_D (s)	m	p
1	>650	-	0.28	1	2.35	0.02	0.10	0.38	2.8	0	1
2	325 a 650	≤ 60	0.28	1.50	2.10	0.03	0.10	0.55	2.6	-0.05	1.40
3	185 a 325	≤ 60	0.28	1.40	2.45	0.03	0.18	0.70	2.0	0.08	1.30
4	<185	≤ 60	0.28	1.10	2.80	0.04	0.3	0.75	2.0	0.12	1.00
5	325 a 650	60 a 120	0.28	1.20	2.10	0.03	0.09	0.55	2.0	-0.12	1.10
6	185 a 325	60 a 120	0.28	1.20	2.35	0.03	0.18	0.70	1.9	-0.05	1.10
7	325 a 650	120 a 220	0.28	1.20	2.10	0.03	0.09	0.60	1.50	-0.10	0.55
8	185 a 325	120 a 220	0.28	1.15	1.80	0.03	0.10	0.70	1.5	-0.20	0.55
9	185 a 325	>220	0.28	1.10	1.80	0.03	0.10	0.75	1.80	-0.25	0.75

Figura 24. Espectro Elástico para el Área Metropolitana de Barquisimeto-Cabudare según Hernández et al. (2011) (arriba) con los respectivos parámetros para su construcción (abajo).

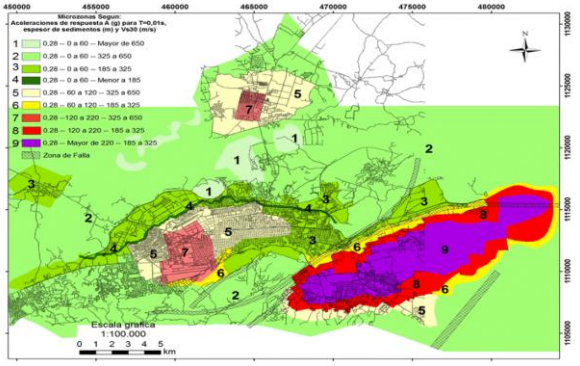


Figura 25. Mapa de microzonas sísmicas y fallas activas del Área Metropolitana de Barquisimeto-Cabudare (García et al., 2016).

Carora y otras ciudades en el Estado Lara (El Tocuyo, Quíbor, Duaca)

En el marco del Proyecto de Microzonificación Sísmica del Estado Lara iniciado en el año 2006, que contó con el apoyo económico de la Gobernación del Estado Lara y FUNVISIS, se realizaron estudios en las ciudades Carora, El Tocuyo, Quíbor y Duaca. Carora está ubicada en el borde suroriental de la cuenca con el mismo nombre, sobre sedimentos cuaternarios, depositados discordantemente sobre rocas de las formaciones Barquisimeto (Cretácico Superior) y Matatere (Paleoceno – Eoceno) (Oropeza, 2012) en una zona de moderada sismicidad con un valor A0 de 0,18 g (Hernández y Schmitz, 2019).

Para la evaluación del subsuelo se procesaron 915 datos correspondientes a la cuenca Sabana de Carora y 86 puntos en la ciudad de Carora (Martínez, 2007). Se adquirieron 192 mediciones de ruido ambiental con una duración de 20 minutos; resultaron valores de los períodos de vibración del suelo entre 0,6 y 1,7 s con valores menores a 0,6 s en el sur y oeste (Figura 26). Mediante la adquisición de perfiles largos de Refracción de Microtremores (ReMi) se pudieron determinar profundidades a un basamento sísmico con Vs de 1600 m/s entre 75 y 135 m (Duque et al., 2011).

Zerpa (2019) aplicó la técnica de decremento aleatorio (RayDec; Hobiger et al., 2009) para la inversión de las curvas de elipticidad de las ondas Rayleigh a los datos de Paolini (2006), lo que permitió desarrollar perfiles de Vs versus profundidad con espesores entre 30 y 230 para Vs del basamento entre 1250 m/s y 1550 m/s para la Formación Matatere (Centro, Norte y Este de Carora) y entre 1550 m/s y 1800 m/s para la Formación Barquisimeto (suroeste de Carora) con un valor promedio del basamento sísmico de Vs = 1400 m/s.

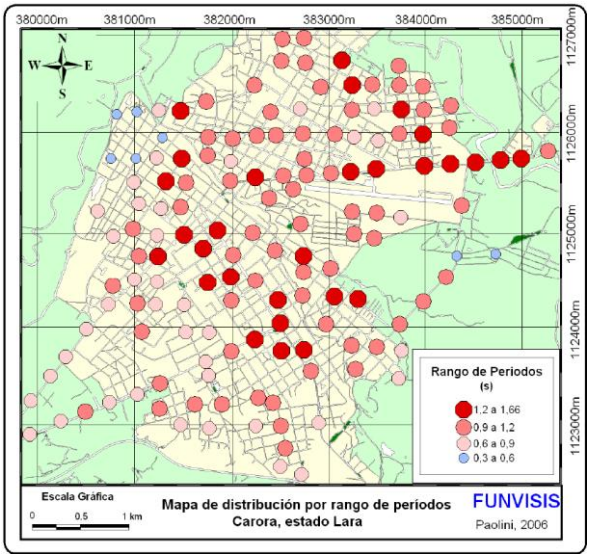


Figura 26. Períodos de vibración del suelo de Carora (Paolini, 2006).

Con la integración de la información disponible (gravimétrica, H/V, ReMi) y los perfiles Vs mediante la inversión RayDec se elaboraron mapas de espesores de sedimentos de Carora clasificado en 3 rangos (30-80 m, 80-150 m y 150-230 m) (Zerpa, 2019) y de Vs30 inferido desde el relieve (siguiendo la metodología de Allen y Wald, 2009) clasificado en 2 rangos, de 200-400 m/s y mayor a 400 m/s (Figura 27). Para estimar la respuesta sísmica en superficie se desarrollaron evaluaciones de la amenaza sísmica en roca y en los sitios sedimentarios (Hernández et al., 2021).

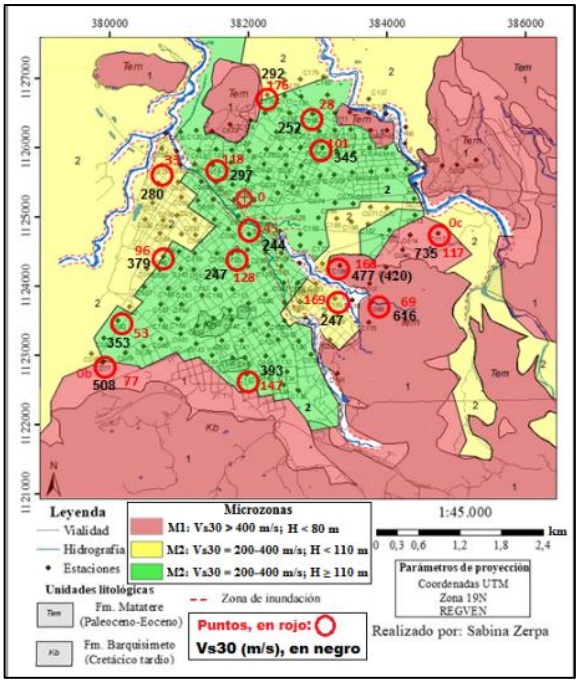


Figura 27. Mapa microzonas sísmicas de Carora; se muestran los sitios de evaluación de la respuesta sísmica indicando Vs30 (derecha).

Basado en el análisis de los resultados se distinguen dos microzonas sísmicas, una en sedimentos someros de hasta 80 m con Vs30 > 400 m/s, y otra con Vs30 de 200-400 m/s y profundidad del basamento sísmico mayor a 80 m (diferenciada para espesores menores y mayores de 110 m). Se especificaron los espectros de diseño asociados a cada una, para diferentes períodos de retorno (PMR = 225, 475, 689 y 975 años). Los espectros de respuestas (Figura 28) deberán ser implementados a través de una ordenanza municipal que oriente las nuevas construcciones, así como la gestión del riesgo sísmico de las edificaciones existentes.

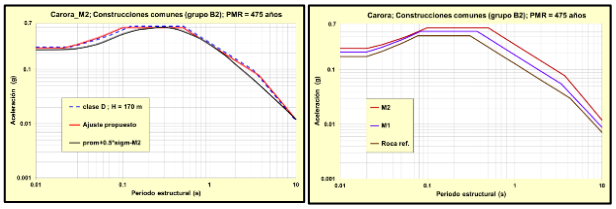


Figura 28. Espectro representativo, ajuste propuesto y normativo para la microzona M2 (izquierda) y espectros ajustados en roca y para las microzonas M1 y M2 (derecha) para PMR = 475 años (Schmitz et al., 2023b).

El Tocuyo se encuentra ubicado en la cercanía de importantes fallas, como es el sistema de fallas de Boconó, responsables para la elevada amenaza sísmica de A0=0,33 g (Hernández y Schmitz, 2019). La ciudad, ubicada en un valle cuaternario (Figura 29), fue parcialmente destruida por el terremoto del 3 de agosto de 1950 con una magnitud de ~ 6,9.

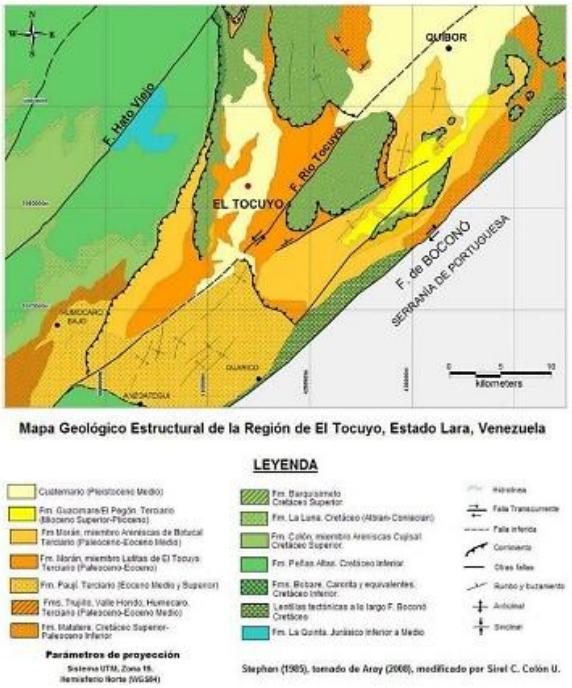


Figura 29. Mapa geológico estructural de la región El Tocuyo (Silva et al. 2023; modificado de Stephan, 1985).

Los trabajos realizados en El Tocuyo comprendieron estudios geológicos (Colón, 2009) y geofísicos (Aray, 2008; Duque et al., 2011; Ávila et al., 2012; 2016) con el fin de determinar microzonas sísmicas preliminares basados en la integración de información del subsuelo y plantear espectros de respuesta asociados a ellas (Silva et al., 2023).

El mapa de Vs 30 (Silva et al. 2023) se basa en el análisis de la topografía, integrado con resultados de mediciones sísmicas. La distribución de los resultados de Vs30 observados están relacionados con la geología de El Tocuyo, en su mayoría terrazas. sobre rocas pertenecientes a la Formación Morán (Paleoceno-Eoceno), específicamente a su Miembro de Lutitas de El Tocuyo (Colón, 2009).

Basado en los análisis de mediciones de ReMi se obtuvieron velocidades Vs30 entre 250m/s y 450m/s. Los sedimentos no consolidados poseen un espesor promedio de 60m y están asociados a velocidades de 540m/s y los sedimentos consolidados están caracterizados por velocidades de 900m/s, cuyas capas tienen espesores promedios de 50m (Duque et al., 2011). El basamento sísmico con un Vs mayor a 1200 m/s podría ubicarse a cierta profundidad dentro de las lutitas de la Formación Morán o en el tope de las formaciones Colón y Barquisimeto.

Se establecieron perfiles de respuesta sísmica con variación de litología para una orientación general, teniendo como referencia información geotécnica. Se definieron para El Tocuyo 4 grupos de microzonas sísmicas preliminares (Figura 30), basado en los valores Vs30. Las bajas velocidades Vs30 de 200 - 300 m/s (grupo MS-4) se deben a los sedimentos

aluvionales en el centro de la cuenca. Hacia los bordes de la cuenca se encuentran microzonas sísmicas con Vs30 de 300-400 m/s y de 400-650 m/s, diferenciados por su profundidad al basamento (hasta 150 m o más de 150 m). En las zonas de alto relieve topográfico predomina los grupos MS-2 y MS-1 (roca). Las partes bajas de la cuenca (grupo de microzonas sísmicas MS-4) podrían ser propensos a fenómenos de licuación del suelo, mientras en la zona de alta topografía (grupos de MS-1 y MS-2) podría haber un peligro de deslizamientos.

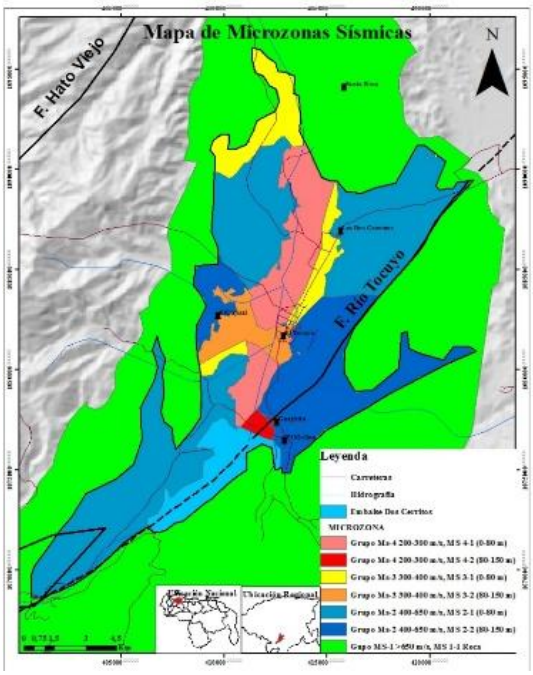


Figura 30. Mapa de microzonas sísmicas preliminares para El Tocuyo (Silva et al., 2023).

La ciudad de Quíbor (Municipio Jiménez) se ubica al sur de la depresión del Valle de Quíbor (Figura 29), una región fértil de gran producción agrícola. Se ubica cercano a la Falla Río Tocuyo; el valor de la amenaza sísmica A0 es 0,25 g (Hernández y Schmitz, 2019). Para la caracterización del subsuelo de la ciudad se realizaron investigaciones geológicas y geofísicas (Valls, 2008; Wurst, 2010; Duque et al., 2011; Ávila et al., 2012; 2016). Se midió el ruido ambiental en 158 sitios en la zona, obteniendo períodos predominantes entre 0,2 s en la cercanía de los afloramientos de la Formación Morán y 1,6 s en la zona más distante a los afloramientos (Figura 31).

Basado en los resultados de perfiles ReMi se obtuvieron espesores de sedimentos de aproximadamente 200 m con Vs30 promedio de 350 m/s y velocidades Vs de 550 m/s hasta 110 m de profundidad y 840 m/s hasta el tope del basamento con 1300 m/s (Duque et al., 2011). Para el modelado 3D de los espesores de sedimentos se realizaron unas 200 mediciones gravimétricas distribuidas en la ciudad de Quíbor (Valls, 2008) y en toda la depresión del Valle de Quíbor (Wurst, 2010). Tanto a nivel de la ciudad de Quíbor como en todo el valle se observan variaciones importantes en los espesores de sedimentos, que varían entre 250 y 400 m con una topografía importante del tope de roca (Formación Morán) (Figura 32).

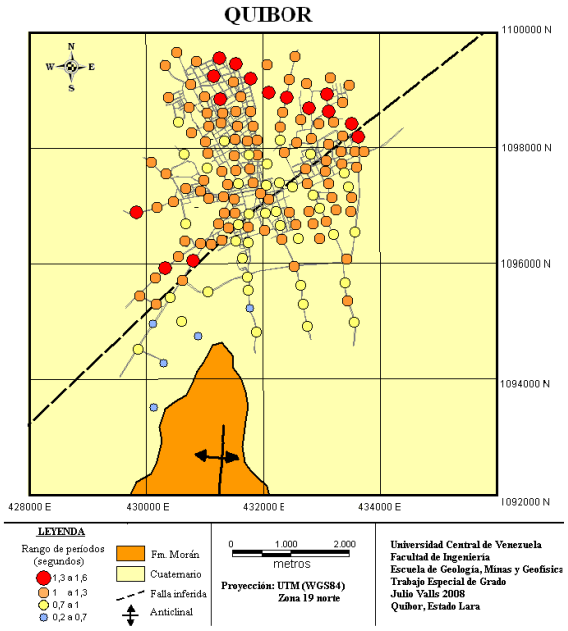


Figura 31. Mapa de los períodos predominantes del suelo de Quíbor (Valls, 2008).

En la parte montañosa del municipio Jiménez se activó en el año 2012 un deslizamiento que abarcó gran parte del pueblo de Cubiro. Se trata de deslizamientos fósiles reactivados por las filtraciones de nuevos desarrollos y falta de mantenimiento de quebradas, lo que requiere el reasentamiento de una parte de la población (Dasco et al., 2013).

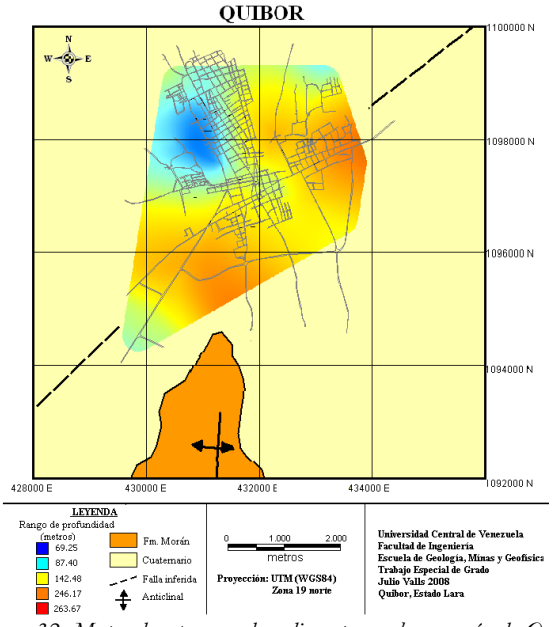


Figura 32. Mapa de espesores de sedimentos en la cercanía de Quíbor (Valls, 2008).

Duaca (Municipio Crespo) está ubicado unos 35 km al noreste de Barquisimeto en una meseta montañosa. Las investigaciones geofísicas incluyeron 48 mediciones de ruido ambiental y 106 mediciones gravimétricas (Hernández, 2008), así como 3 perfiles ReMi (Duque et al., 2011). Los períodos fundamentales resultantes varían entre 0,2 s sobre sitios en la Formación Bobare y 0,91 s en la parte central de Duaca (Hernández, 2008).

Los espesores de sedimentos (Figura 33) se determinaron mediante modelado gravimétrico 3D tomando como control los espesores obtenidos por perfiles ReMi (Duque et al., 2011). Los máximos espesores de 220 metros se ubican en el centro de Duaca con valores promedio de Vs30 de 400 m/s, seguido por sedimentos no consolidados con Vs de 700 m/s hasta unos 100 m de profundidad y en la parte baja sedimentos consolidados con Vs de 1170 m/s.

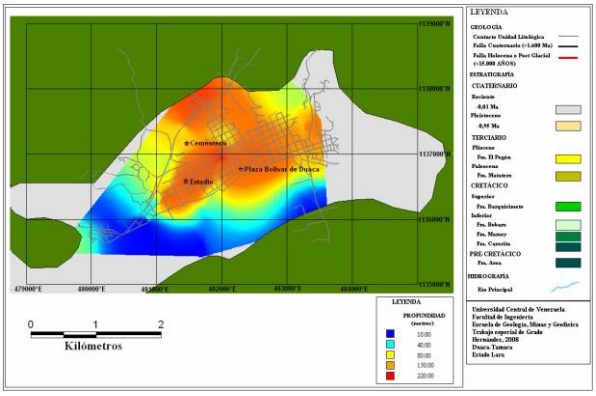


Figura 33. Mapa de espesores de sedimentos de Duaca (Hernández, 2008; geología base de Bellizia y Rodríguez, 1968, modificado de Bechtold, 2004).

Cumaná y ciudades en el Estado Sucre (Carúpano, Cariaco)

Cumaná, ubicada en el extremo norte de la Serranía del Interior, se encuentra asentada sobre sedimentos fluvio-deltaicos del río Manzanares y de la llanura costera. La traza de la falla de El Pilar cruza la ciudad, por lo cual Cumaná es una de las ciudades venezolanas más afectadas por sismos destructores a lo largo de los años (1530, 1684, 1766, 1797, 1853, 1929 y 1997; Grases et al., 1999).

A comienzos de los años 90, se evaluó la seguridad sísmica del hospital de Cumaná por estar ubicado muy cerca de la traza de la Falla El Pilar (e.g. OPS, 1995). Posterior al terremoto de Cariaco de 1997 se realizaron mediciones de ruido ambiental (Abeki et al., 1998b), pudiendo correlacionarse los periodos predominantes mayores a 1 s con los sedimentos deltáicos del río Manzanares y los depósitos marinos costeros (Figura 34).

En el año 2001 se realizaron mediciones sísmicas en torno al hospital para precisar la ubicación de la Falla El Pilar (Schmitz et al., 2006) y en el año 2009 se inició el Proyecto de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Cumaná (LOCTI) por FUNVISIS. El Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR, Mérida) gestionó con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) un proyecto de Microzonificación Sísmica en Cumaná con la Universidad de Oriente (años 2017-2018) y posteriormente con Total Energies proyectos para la socialización de las amenazas (EDURIESGO 3.0 y APPMENAZAS 1.0, años 2019-2020).

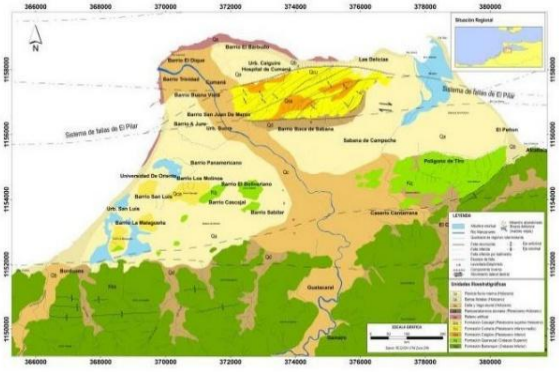


Figura 34. Geología de Cumaná, ubicada al norte de la Serranía Interior (Aray et al., 2015, basada en Viete, 2012).

La caracterización del subsuelo de la ciudad de Cumaná se realizó a través de la integración de estudios geofísicos de ruido sísmico ambiental (Aray et al., 2010; 2015), gravimetría (Cruces et al., 2008), sísmica de refracción (Schmitz et al., 2006; Román, 2011) e información de una perforación geotécnica (Oropeza, 2011). Se adquirieron más de 200 estaciones de ruido sísmico ambiental, confirmando los resultados las observaciones de Abeki et al. (1998b) con valores encima de 1 s (1-1,4 s) (Figura 35). Hacia los afloramientos de la Serranía del Interior en el sur, los valores bajan a 0,1 s. Se realizaron además análisis de las características de las curvas H/V con picos en diferentes rangos de períodos (F. Bonive, comunicación personal, 2018). La evaluación de las intensidades del sismo de Cariaco de 1997 realizada sobre todo en el centro de Cumaná, muestra la coincidencia de intensidades entre 6 y 7 con zonas de mayor período fundamental del suelo (Lang et al., 2004).

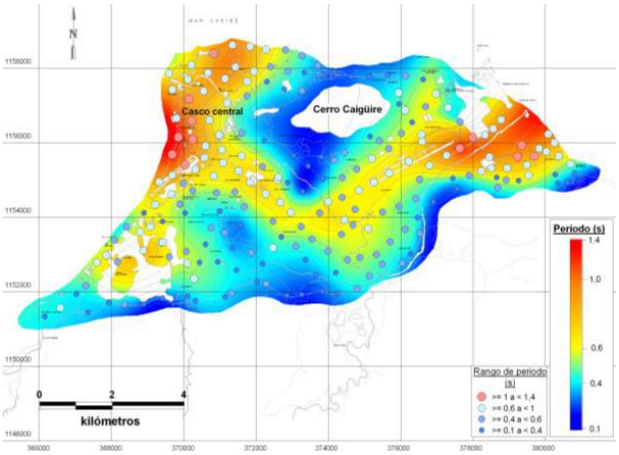


Figura 35. Mapa de períodos fundamentales de vibración del suelo de Cumaná (Aray et al., 2015).

El mapa de Vs30 se obtuvo aplicando la metodología de Allen y Wald (2009) a la topografía (Aray et al., 2010). Los valores obtenidos por García (2019) mediante el análisis de

mediciones MASW coinciden en gran medida, mostrando valores menores con Vs30 entre 150 y 200 m/s en la barra litoral.

Para determinar la profundidad de los sedimentos cuaternarios, así como de la profundidad al tope de los estratos cretácicos (formaciones Querecual y Barranquín) se analizaron aproximadamente 700 estaciones gravimétricas con un espaciamiento promedio de 250 m (Cruces, 2008) mediante un modelado 3D, usando como amarre los resultados de 4 perfiles sísmicos (Román, 2011; Schmitz et al., 2006), una perforación hasta 230 m de profundidad (Oropeza, 2011) y los períodos fundamentales del suelo (Aray et al., 2010). Los mayores espesores de sedimentos cuaternarios se acumularon en la zona de la actual desembocadura del río Manzanares en el centro con más de 60 m y en el antiguo delta del río Manzanares en el este con más de 300 m (Figura 36). Farías (2017) determinó profundidades al tope de los estratos cretácicos aún mayores (más de 800 m) mediante la inversión 1D de datos de ruido ambiental a lo largo de 2 perfiles. Indica velocidades Vs para los sedimentos cuaternarios de 200-700 m/s, de los sedimentos terciarios (Formación Caigüire) entre 1000 y 1300 m/s y del tope del Cretácico entre 1700 y 3200 m/s.

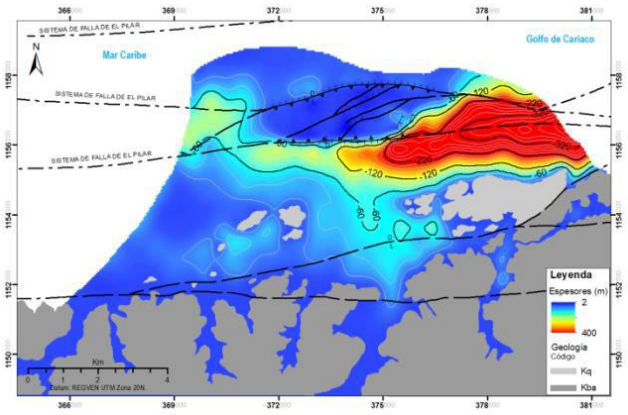


Figura 36. Mapa de espesores de sedimentos cuaternarios obtenidos a partir del modelado gravimétrico para la ciudad de Cumaná (Aray et al., 2015).

Considerando los efectos de licuación observados durante el terremoto de Cariaco de 1997, Olivier (2009) aplicó los procedimientos de Idriss y Boulanger (2004) y Cetin et al. (2001) a los datos provenientes de más de 100 perforaciones geotécnicas, calibrado los valores Vs con datos sísmicos. Las zonas cercanas a la costa y en la desembocadura del río Manzanares, pero también una delgada franja en el sur, resultaron con alto a muy alto potencial de licuación (Olivier, 2009).

Para determinar las amplificaciones y su variabilidad frecuencial, se realizó un modelado de la respuesta sísmica de Cumaná para frecuencias de 0.5 y 1 Hz (Abreu y Schmitz, 2009). Las mayores amplificaciones se observaron para sismos lejanos para la frecuencia de 0,5 Hz y para sismos lejanos para 1 Hz. Basado en el valor de amenaza en roca de A0 = 0,54 g (COVENIN 1756 (2019) se elaboraron espectros preliminares para las microzonas (J.J. Hernández, comunicación personal, 2018). Sin embargo, estos no se finalizaron, ya que la prórroga prevista del proyecto BID del CIGIR no se pudo realizar.

Mediante la integración de los estudios geológicos y geofísicos se generó un mapa de microzonas sísmicas preliminares donde se delimitaron aquellas regiones de igual respuesta sísmica (Figura 37). Del Cerro de Caigüire hacia la costa, así como en dos partes al sur se presentan suelos duros o sedimentos terciarios (formaciones Caigüire y Cumaná) o cretácicos (Formación Querecual) aflorando o a poca profundidad en la Microzona 1-1 con Vs30 entre 325 y 650 m/s. Al norte de la desembocadura del río Manzanares y las zonas centro-sur de la ciudad se ubican en la Microzona 1-2 con espesores de sedimentos menores a 60 m y Vs30 entre 185 y 325 m/s. Al sur, a lo largo del río Manzanares, los espesores de sedimentos aumentan a 60 a 120 m (predominantemente Microzona 2-2 con Vs30 entre 185 y 325 m/s). Los grupos de microzonas 3 y 4, con espesores de sedimentos de 120 a 220 m y mayores a 220 m, respectivamente, se ubican en el este de Cumaná.

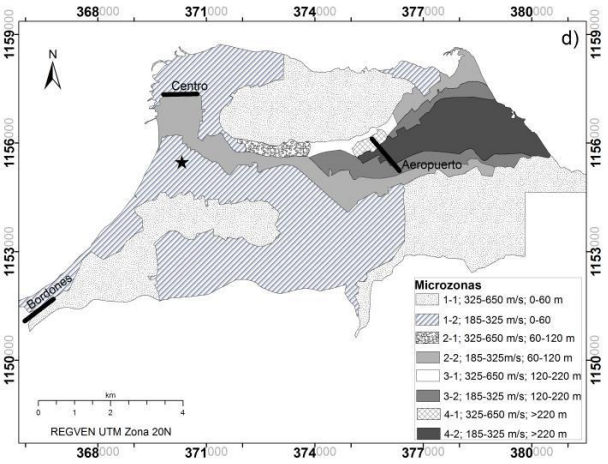


Figura 37. Mapa de microzonas sísmicas preliminares para la ciudad de Cumaná (Aray et al., 2015). La estrella indica la ubicación de la perforación geotécnica de Oropeza (2011). Las líneas negras indican la ubicación de los perfiles sísmicos de Román (2011).

Debido a los daños en las escuelas sufridas durante el terremoto de Cariaco 1997 en el estado Sucre, se analizaron las edificaciones escolares en Venezuela (López et al., 2015). Coronel y López (2010) determinaron el nivel del riesgo sísmico para las edificaciones escolares en el Estado Sucre para su priorización en planes de gestión del riesgo. Para varias edificaciones escolares ya se dispone de planes detallados para su reforzamiento. Es urgente la finalización de la microzonificación sísmica de Cumaná con la elaboración de los espectros respectivos y su implementación en ordenanza municipal, así como la pueste en marcha del plan de gestión del riesgo con los respectivos reforzamientos para mitigar el riesgo sísmico.

En el marco de los proyectos en torno al Complejo Industrial Gran Mariscal de Ayacucho (CIGMA) se evaluó la amenaza sísmica en Carúpano, ubicado al norte de la península de Paria

(Molina et al., 2008). La aceleración pico (A0) para PMR de 500 años fue evaluada en 0,41 g para el puerto de Carúpano, algo mayor que los 0,35 g según la norma COVENIN 1756 (2019). La ciudad está ubicada en un valle aluvional encima de rocas de las formaciones Carúpano y Tunapui.

Se realizaron mediciones de ruido ambiental y gravimetría para determinar los períodos predominantes del suelo y el espesor de los sedimentos (Pacheco, 2008; Paolini et al., 2009). Los máximos valores de períodos se observaron en el centro de Carúpano con 1.1s, disminuyendo hacia los bordes de la cuenca (Molina et al., 2008). Los espesores determinados por la inversión de las mediciones de ruido ambiental, aplicando los métodos de RayDec o campo difuso, superaron los 150 m (Figura 38).

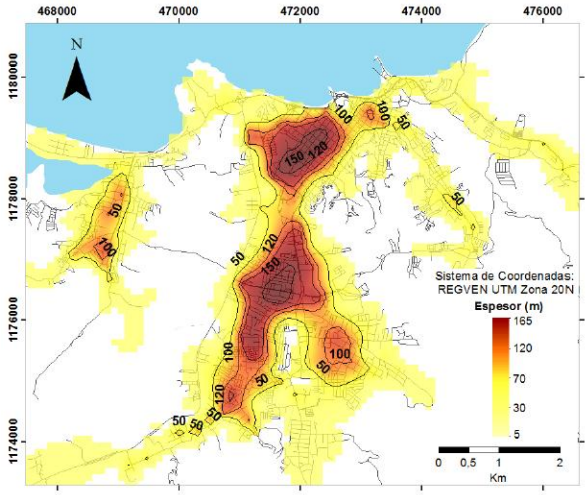


Figura 38. Mapa de espesores de sedimentos basado en la inversión de datos de mediciones de ruido ambiental (Hinojosa et al., 2021).

Acosta et al. (2021) generaron un mapa de Vs30 de Carúpano aplicando la metodología de Allen y Wald (2009) al modelo digital del terreno. Los valores de Vs30 varían dentro del valle aluvional de Carúpano entre 200 y 400 m/s y aumentan hacia las laderas con los afloramientos de las formaciones Carúpano y Tunapui.

El terremoto de Cariaco de 1997, de magnitud 6,9, ocurrió a lo largo de la falla El Pilar, en el este de Venezuela, y fue el terremoto más destructivo en Venezuela desde el terremoto de Caracas de 1967. El terremoto causó 73 muertos y 531 heridos; los daños a las edificaciones se concentraron principalmente entre la ciudad de Cariaco, ubicada a 10 km del epicentro, y Cumaná, capital del estado Sucre, a unos 70 km al oeste (e.g. FUNVISIS et al., 1997). En Cariaco se produjeron derrumbes de dos escuelas, daños en un banco y un hotel en construcción, así como el derrumbe de una parte importante de las casas de bahareque locales. Muchas de las casas de bahareque, así como una camaronera local, se vieron afectadas por la licuefacción y deslizamiento lateral (De Santis y Hernández, 1999). Se observó una ruptura en superficie de la Falla El Pilar de 0,4 – 1 m de desplazamento a lo largo de 35 km. El valor A0 de la amenaza en roca es 0,54 g según la norma COVENIN 1756 (2019).

Se realizaron estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos para caracterizar las condiciones del suelo en Cariaco y sus alrededores, incluyendo mediciones de microtremores en 64 sitios (Figura 39) y refracción sísmica enfocadas en suelos blandos (Masaki et al., 1999; González et al., 2004). Los períodos predominantes del suelo varían entre 0,6 y 1,2 s.

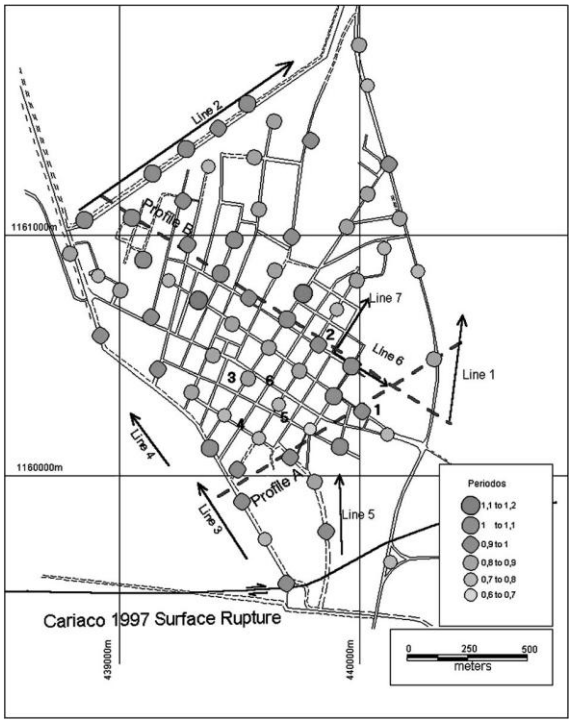


Figura 39. Mapa de períodos predominantes de Cariaco. Los números indican la ubicación de las líneas de sísmica de refracción (González et al., 2004).

De un modelado gravimétrico, en el cual se identifican rocas metamórficas de la cordillera Araya – Paria en el norte y rocas sedimentarias de la Serranía del Interior en el sur, se determina la cobertura sedimentaria con una profundidad máxima de 270 m en el centro de la cuenca, con areniscas y calizas del Mio-Plioceno por debajo. Los espesores disminuyen hacia el sur, donde alcanzan 120 m en el contacto con la falla (Figura 40).

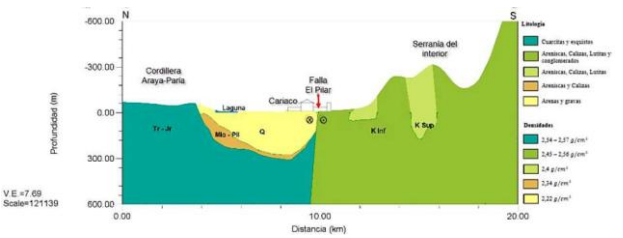


Figura 40. Modelo gravimétrico de Cariaco (Crasto et al., 2021).

El alto porcentaje de daños en el centro de Cariaco se puede atribuir a la mala calidad de las viviendas, combinada con la presencia de suelos gruesos y poco consolidados y, en algunos casos particulares, a fenómenos de licuefacción. Las obras de

refuerzo sísmico son una tarea urgente, ya que aún existen numerosos edificios escolares vulnerables en la región. La finalización de los estudios de microzonificación sísmica con el cálculo de la respuesta en superficie y el desarrollo de ordenanzas municipales proporcionarían a Cariaco herramientas para construir edificios más seguros en el futuro.

CIUDADES EN EL MARCO DEL PROYECTO GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO EN ESPACIOS URBANOS

En el año 2008 se inició el proyecto Investigación Aplicada a la Gestión del Riesgo en Espacios Urbanos (Proyecto FONACIT 2007000939) en las áreas metropolitanas de Mérida, Valencia, Maracay y Barcelona, así como en Valle de La Pascua (Vernáez et al., 2011; Schmitz et al., 2015). Valle de La Pascua se seleccionó como ciudad con potencial crecimiento futuro en el Eje Norte Llanero. Se estudiaron aspectos relacionados con la presencia de las diferentes amenazas en las regiones, como las amenazas hidrometeorológicas, el peligro de deslizamientos y amenazas tecnológicas. No se ha logrado una integración de las diferentes amenazas y riesgos; los resultados parciales de la amenaza sísmica han sido utilizados en la planificación urbana, faltando el desarrollo de los espectros en superficie para una mejor estimación de los efectos esperados, y por tanto una confiable herramienta para la mitigación del riesgo sísmico

Área Metropolitana de Valencia

La geología del Área Metropolitana de Valencia (AMV) está caracterizada por las unidades de la Asociación Metamórfica del Ávila. La cuenca del Lago de Valencia tiene una geomorfología dominada por las planicies lacustrinas y aluviales cercano al lago y los valles aluviales y, en la transición a las rocas del Complejo San Julián aflorando, el piedemonte (Figura 41). El valor A0 de la amenaza en roca es 0,15 g según la norma COVENIN 1756 (2019), considerablemente menor que los 0,3 g de la norma anterior (COVENIN 1756, 2001).

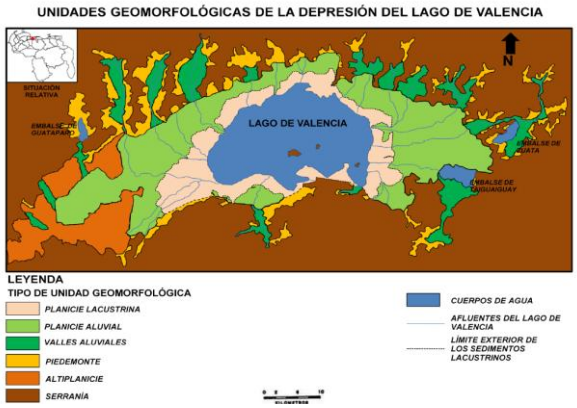


Figura 41. Unidades geomorfológicas en la región de Valencia – Maracay (tomado de Zinck, 1980) (Gil, 2021).

Mediante un modelado 3D gravimétrico, Romero (2017) evaluó los espesores de sedimentos en la cuenca del Lago de Valencia basado en la compilación de 580 datos terrestres y datos satelitales con datos sísmicos de amarre (Rocabado et al., 2011). Los valores máximos en la cuenca alcanzan unos 300 m en la parte oeste y 350 m en la parte este de la cuenca (Romero, 2017).

Localmente, se alcanzaron profundidades de sedimentos grandes en los valles aluvionales, en el caso del valle de Valencia más de 300 m (Figura 42; Goitia, 2012) con una perforación a 240 m de profundidad (Schmitz et al., 2015). Sin embargo, los períodos predominantes del suelo, alrededor de 1,4 s en Valencia, no reflejan estos grandes espesores (Rocabado et al., 2011).

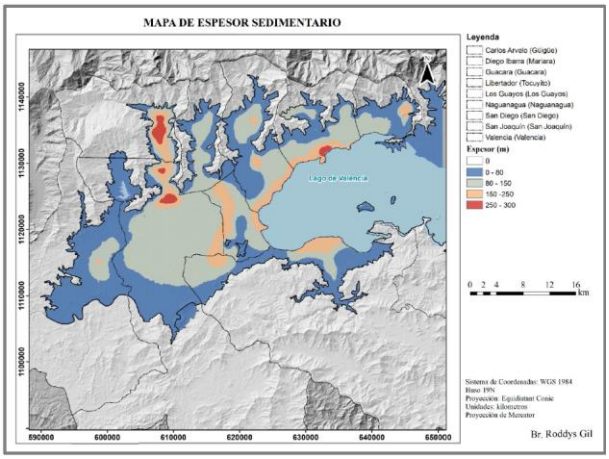


Figura 42. Mapa de espesor sedimentario integrado (Gil, 2021).

Para definir las microzonas sísmicas preliminares (Figura 43), se usaron los mapas de Vs30 (Gil, 2021) y de espesores sedimentarios (Figura 42). Para el mapa Vs30 se recopiló información proveniente de perforaciones geotécnicas, datos obtenidos por iMASW (interferometric Multichannel Analisys of Surface Waves) (Mijares et al., 2021) y por el análisis de la topografía (Parra et al., 2016). Las zonas cercanas al lago (arenas limosas y arcillosas) muestran velocidades de Vs30 entre 200 y 300 m/s. Se integraron además el potencial de licuación (Pombo, 2018) y las fallas activas de la zona (Paolini et al., 2012; Singer et al., 2014).

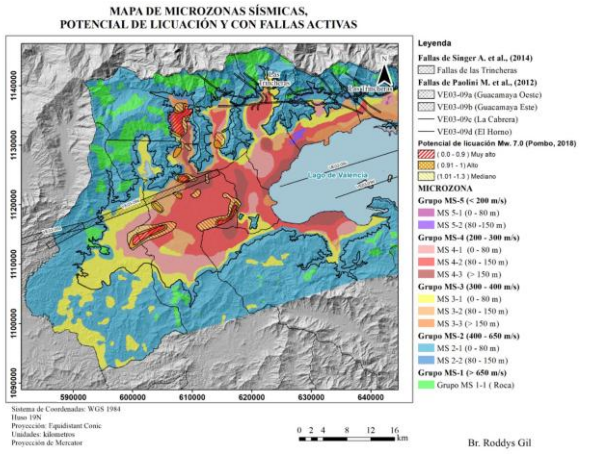


Figura 43. Mapa de Microzonas sísmicas preliminares del AMV a partir de los datos de Vs30 integrado y el mapa de espesor sedimentario, así como el potencial de licuación y fallas activas (Gil, 2021).

Muchas edificaciones del AMV presentan un riesgo sísmico alto y requieren de revisiones especializadas para su adecuación estructural (Pombo, 2018). Si bien la amenaza sísmica en roca bajó en la norma actual COVENIN 1756 (2019), es importante considerar las amplificaciones por los espesores de sedimentos y los bajos valores de Vs30 y elaborar ordenanzas municipales y planes de prevención sísmica en los municipios del AMV.

Área Metropolitana de Maracay

El Área Metropolitana de Maracay (AMM) está delimitado en el norte por las unidades de la Asociación Metamórfica del Ávila; el Complejo San Julián y los esquistos Las Brisas y Las Mercedes y en el sur por los sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia con las planicies lacustrinas y aluviales cercano al lago y los valles aluviales (Figura 41). El valor A0 de la amenaza en roca es 0,18 g según la norma COVENIN 1756 (2019), considerablemente menor que los 0,3 g de la norma anterior (COVENIN 1756, 2001).

Parra et al. (2016) compararon los resultados de mediciones de ReMi (Casalena, 2011) con la evaluación por análisis de topografía. Escobar et al. (2023) usaron los datos adquiridos por (Casalena, 2011) para evaluar diferentes metodologías (ReMi, iMASW). López (2021) integró la información con datos provenientes de la conversión de valores SPT de perforaciones geotécnicas a Vs y del análisis de la topografía en un mapa Vs30 de Maracay. Se observa una graduación de norte a sur con los afloramientos de roca con Vs30 > 650 m/s y roca meteorizada con Vs30 de 400 – 650 m/s en el norte. En la zona aluvional disminuyen los valores de Vs30 a 300 - 400m/s, abarcando parte del centro y norte de la ciudad. Acercándose al Lago de Valencia en el sur, los valores Vs30 en las planicies lacustrinas bajan a 200 – 300 m/s con valores menores a 200 m/s en una pequeña zona en el sur.

Para la evaluación del potencial de licuación se aplicó el método simplificado de Seed e Idriss (1971) usando las variables geotécnicas y Vs30 (Ali, 2021). Los sitios con moderado y alto potencial de licuación coinciden con las zonas de menores Vs30, un nivel freático menor a 5 metros de profundidad y en muchos casos con suelos con la presencia de caracolillo (sedimento lacustre de origen diatomáceo) cerca de la costa del Lago de Valencia.

El espesor de los sedimentos fue evaluado utilizando 315 datos de ruido ambiental (Rojas, 2008), datos sísmicos (Rocabado et al., 2011), de inversión de datos de ruido ambiental (Ornelas, 2018) y gravimétricos (Romero, 2017), así como información de una perforación profunda hasta 300 m de profundidad (Schmitz et al., 2015). Los períodos fundamentales del suelo aumentan desde el norte, en sitios con roca, hacia el sur con valores máximos de 2,9 s (Figura 44). Mediante la inversión de las curvas de elipticidad de las ondas Rayleigh con el método de campo difuso se obtuvieron espesores máximos de sedimentos de 310 m al sur de Maracay con Vs entre 137 y 657 m/s. Un segundo estrato con Vs promedio de 1250 m/s puede asociarse a los esquistos Las Mercedes y Las Brisas (Ornelas, 2018).

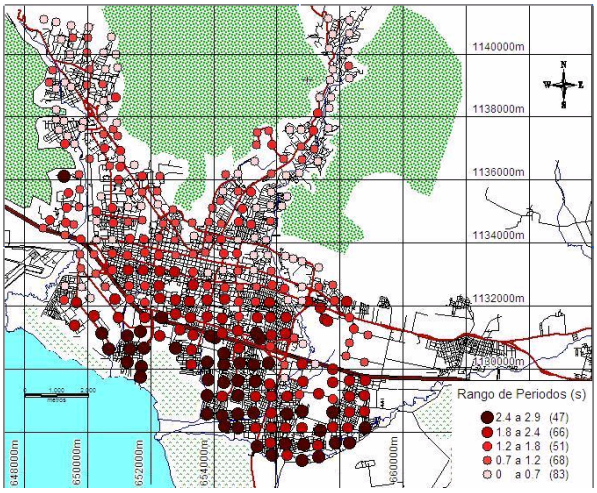


Figura 44. Mapa de períodos predominantes del suelo del AMM (Rojas, 2008).

La información de las evaluaciones sísmicas arriba mencionadas, así como los datos geotécnicos y geológicos de la zona fueron integrados con los resultados del modelado 3D gravimétrico de Romero (2017) con un espesor máximo en la zona de Maracay de 350 m, amarrado con los 300 m de profundidad de la perforación al norte de la Autopista Regional del Centro (López, 2021).

Con el fin de proporcionar datos de entrada para los cálculos de la respuesta sísmica en superficie y para soporte en la delimitación de las microzonas sísmicas se desarrollaron 17 perfiles de suelo integrando la información geotécnica, las velocidades Vs, el período fundamental y el espesor de los sedimentos (López, 2021). Las microzonas sísmicas resultantes fueron ajustadas a la malla urbana y se ubican en el mapa (Figura 45) las fallas activas (Paolini et al., 2012; Singer et al., 2014). Con base en la información recopilada deberán calcularse los espectros de respuesta en superficie y elaborarse las ordenanzas respectivas en los municipios del AMM.

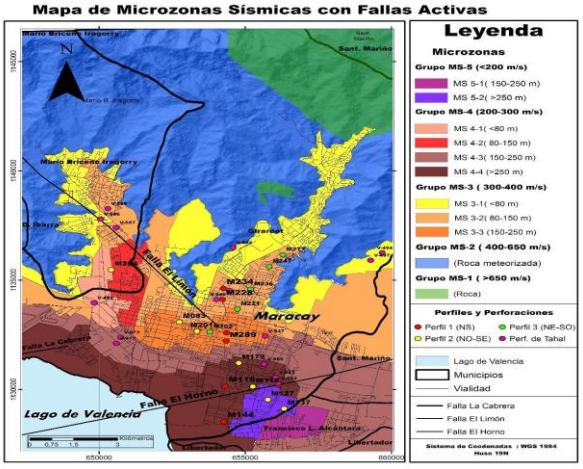


Figura 45. Mapa de Microzonas sísmicas preliminares y fallas activas de Maracay (López, 2021).

Área Metropolitana de Barcelona

El Área Metropolitana de Barcelona (AMB) en el norte del Estado Anzoátegui está delimitado en el norte por el mar Caribe y se asienta sobre unidades cretácicas en el este, estratos terciarios en el oeste y sedimentos cuaternarios en la parte central. El valor A0 de la amenaza en roca se ubica entre 0,2 y 0,3 g según la norma COVENIN 1756 (2019), algo menor que los 0,3 - 0,35 g de la norma anterior (COVENIN 1756, 2001).

Una base para la delimitación de las zonas de igual respuesta sísmica del AMB fue la evaluación geomorfológica considerando las amenazas asociadas para la sectorización (González, 2011; Figura 46). Para la generación del mapa de Vs30 (Alba, 2022) se usó como primera aproximación un método de Vs30 por topografía (Allen y Wald, 2009), luego se calibró con datos Vs30 provenientes de ReMi (Padrón, 2013; Rodríguez, 2013) y después se ajustó usando el mapa de geomorfología (Figura 46).

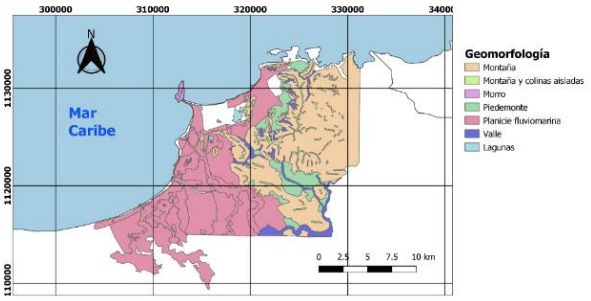


Figura 46. Unidades geomorfológicas en el AMB (Alba, 2022, modificado de González, 2011).

Los espesores de sedimentos fueron evaluados utilizando datos sísmicos (Schmitz et al., 1999; Medina et al., 2016), de ReMi (Rodríguez, 2013), un total de 670 mediciones de ruido ambiental (Mendes, 2004; Gascón et al., 2009; Paolini y Schmitz, 2014; Alba, 2022) y modelado gravimétrico basado en más de 800 puntos de medición (Mendes, 2004; Ramírez-Lisboa et al., 2015). El análisis de las mediciones de ruido ambiental permite diferenciar el AMB con los menores períodos, menos de 0,5 s en el este (rocas del Cretácico aflorando) de zonas con períodos de 1-1,5 s hacia el oeste. Además, destacan una zona con períodos de 1,5-1,7 s en Lechería, así como una zona con períodos mayores a 1,7 s en el extremo oeste de Barcelona (Paolini y Schmitz, 2014).

Se integraron los espesores derivados de la inversión de las curvas de H/V y de elipticidad utilizando los espesores del modelo gravimétrico 3D (Ramírez-Lisboa et al., 2015) identificando valores Vs aumentando de unos 125 m/s en los primeros 10 m a unos 800 m/s en la base de los sedimentos y con valores de Vs del basamento entre 1250-1690 m/s (Alba, 2022). Las profundidades máximas del modelado gravimétrico fueron observadas en el oeste de Barcelona con más de 600 m (Ramírez-Lisboa et al., 2015). En la zona de Puerto La Cruz se tuvieron que ajustar los espesores por diferencias con las inversiones de ruido y se clasificaron los espesores de sedimentos en 4 rangos con fines de microzonificación sísmica (Alba, 2022).

Se generó el mapa de microzonas preliminares del AMB (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), integrando el mapa de Vs30 y el mapa de espesores de sedimentos (Alba, 2022), ajustando los límites de las microzonas sísmicas a los límites de las unidades geomorfológicas (Figura 46), evitando que resulten zonas muy pequeñas. Puerto la Cruz, Lechería y Barcelona están ubicadas en zonas de Vs30 de 170-300 m/s, perteneciendo a los grupos MS3 (200-300 m/s) y MS4 (170-200 m/s), una buena parte de Barcelona está en el Grupo MS4, es decir, suelos blandos.

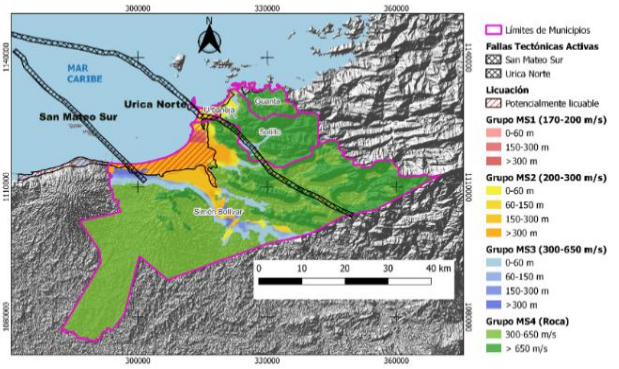


Figura 47. Mapa de microzonas sísmicas preliminares del AMB, incluyendo franjas con la ubicación de las fallas activas (Paolini et al., 2012) e información sobre zonas con alto potencial de licuación (Graffe, 2002) (Alba, 2022).

En una fase final, al considerar la respuesta sísmica en superficie en las diferentes microzonas sísmica, se recomienda ajustar los límites de las microzonas a la trama urbana. Durante el desarrollo de la investigación se estuvo una intensa interacción con los funcionarios de las alcaldías del AMC, lo que resultó en un uso parcial de la información en la planificación urbana (Delgado et al., 2014).

Área Metropolitana de Mérida (más San Juán y Lagunillas)

El Área Metropolitana de Mérida (AMM) en los Andes de Mérida es una conurbación elongada de tres municipios ubicados sobre terrazas del Pleistoceno del rio Chama y afluyentes y las laderas de estos ríos. Las rocas que afloran corresponden mayormente a la Asociación Sierra Nevada (Proterozoico Superior) en el sur rocas terciarias a permicos en el norte. El valor A0 de la amenaza sísmica en roca se ubica en 0,36 g según la norma COVENIN 1756 (2019).

Para determinar las características del subsuelo se midieron 654 estaciones de ruido ambiental y 189 gravimétricas para determinar la profundidad de los sedimentos, así como 62 perfiles sísmicos someros para determinar el Vs30. Los periodos fundamentales del suelo varían entre 0,2 y 2 s, con los periodos bajos en la parte apical de los diferentes abanicos que se encuentran laterales a la terraza y cercanos a las diferentes formaciones rocosas aflorando (Cerrada et al., 2015).

Los máximos espesores de sedimentos son entre 100 y 130 m (Reinoza et al., 2006) en un área alargada en sentido noreste

– suroeste (Cerrada et al., 2015). En el borde sur de la terraza se ubica el basamento rocoso en la perforación para el observatorio acelerográfico a 145 m de profundidad. En Tabay, los espesores sedimentarios no superan los 50 m, mientras en Ejido pueden alcanzar localmente 120 m. (Schmitz et al., 2015). Los valores de Vs30 en la terraza, la mayor parte de Mérida y Ejido, oscilan entre 350 y 650 m/s (Cerrada et al, 2015), lo que corresponde a la microzona sísmica 1-2 con espesores entre 0 y 60 m (Figura 48). Hacia las laderas se observan valores de Vs30 mayores a 650 m/s.

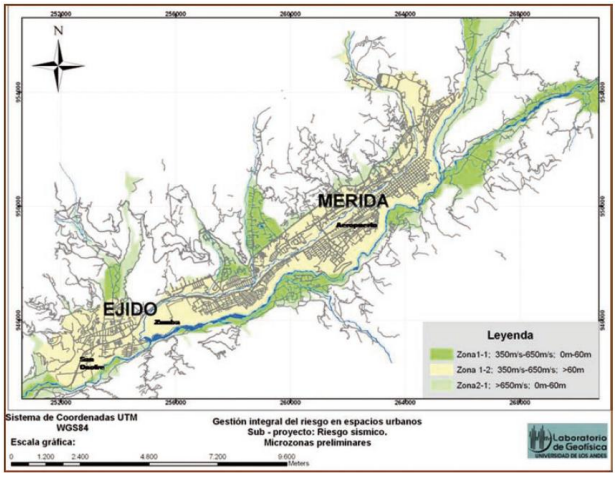


Figura 48. Microzonas sísmicas preliminares del AMM (Cerrada et al., 2015).

Rocabado et al. (2015) evaluaron los efectos de amplificación mediante registros en roca y en superficie del observatorio acelerográfico en el borde de la terraza. Las máximas amplificaciones se obtienen para períodos bajos, en el orden de 3 para las componentes vertical y este-oeste y un máximo de 8 para la componente norte-sur. Esto es acorde con resultados de modelados 1D (Yegres et al., 2020), indicando una amplificación de 4 veces entre roca y superficie.

Con el propósito de diseñar mecanismos para promover una mayor integración de los estudios locales de zonificación de amenazas naturales en la gestión urbana del Municipio Libertador del estado Mérida, Aranguren (2018) realizó un diagnóstico de los avances y retos para integrar los estudios de amenazas de desastres de origen natural en la gestión urbana de la ciudad de Mérida. Entre los factores a tomar en cuenta está la susceptibilidad de las laderas a movimientos en masa (Ramírez, 2014). Sobre la base de estos análisis se proponen 3 aportes concretos para mejorar las capacidades de gestión municipal: El establecimiento de lineamientos internos para incorporar los estudios de amenazas locales en el quehacer de la alcaldía, el desarrollo de herramientas cartográficas digitales para la zonificación urbana de amenazas con fines de apoyo a la gestión urbana y el diseño de un programa de capacitación en gestión local de riesgos socionaturales dirigido específicamente a los funcionarios de esa alcaldía.

Fuera del AMM se realizaron evaluaciones geológicas y mediciones geofísicas para la determinación de las condiciones del subsuelo en las poblaciones de San Juán y Lagunillas, ubicadas unos 25 y 30 km al suroeste de Mérida, respectivamente, sobre terrazas sedimentarias cuaternarias al norte del rio Chama. Se realizaron mediciones de ruido ambiental para determinar el período fundamental del suelo (Figuras 49 y 50). Rojas (2015) y Rodríguez y Sánchez (2016) determinaron las direcciones preferenciales de los períodos fundamentales mediante un análisis H/V rotado. Mediante mediciones ReMi se determinaron los valores de Vs30 (Guillen, 2016) y la distribución de las velocidades Vs dentro de los sedimentos.

Todos los valores Vs30 superan los 400 m/s y los períodos fundamentales alcanzan 2,8 s en la zona, indicativo para espesores de sedimentos mayores a 400 m. En noviembre 2015 inició un enjambre sísmico asociado a los movimientos de la Falla de Boconó con una gran cantidad de sismos (Barrios et al., 2019). Estos movimientos enfatizan la necesidad de finalizar los estudios de microzonificación sísmica en la zona con la elaboración de espectros de respuesta en superficie para poder contribuir a la mitigación del riesgo sísmico en la zona.

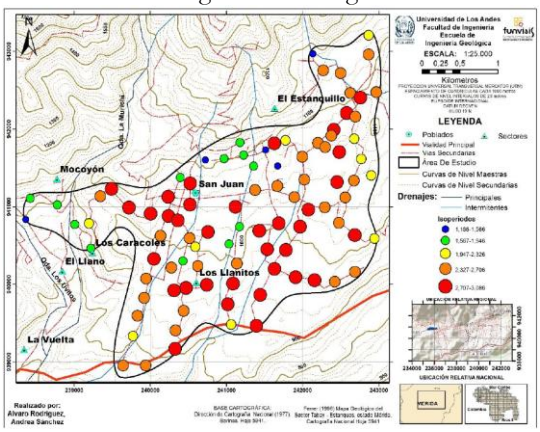


Figura 49. Períodos fundamentales del suelo en San Juán (Rodríguez y Sánchez, 2016).

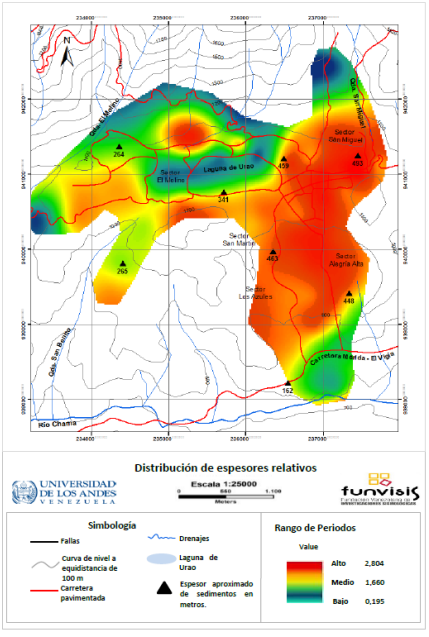


Figura 50. Períodos de vibración del suelo de Lagunillas (Rojas, 2015).

Valle de la Pascua

Para evaluar la amenaza sísmica en superficie en una zona de menor amenaza en roca con A0 = 0,05g (COVENIN 1756, 2019) se seleccionó la ciudad Valle de la Pascua como ciudad con potencial crecimiento futuro en el Eje Norte Llanero (Vernáez et al., 2011; Schmitz et al., 2015).

El basamento está compuesto de rocas cretácicas con diferentes ciclos de sedimentación en el Terciario Superior, pertenecientes a la Formación Quiamare. El área presenta diferentes unidades morfodinámicas como superficies aplanadas, ondulaciones, llanuras de inundación y lagunas. El análisis de 140 mediciones de ruido ambiental y 54 perfiles de ReMi permitió caracterizar de manera general los suelos de la ciudad como compactos con Vs30 oscilando entre 300 y 580 m/s (Figura 51) y períodos fundamentales del suelo entre 0,1 y 0,4 s sin mucho potencial de amplificar la baja amenaza sísmica en la región (Acosta et al., 2018). Se identifico una velocidad de ondas de corte de aproximadamente 1200 a 1500 m/s como basamento sísmico, ubicado a 100 - 150 m de profundidad. La distribución de velocidades está, posiblemente, asociada a cambios litológicos de la Formación Quiamare. Se sugiere prestar atención a potenciales problemas geotécnicos por la presencia de arcillas expansivas.

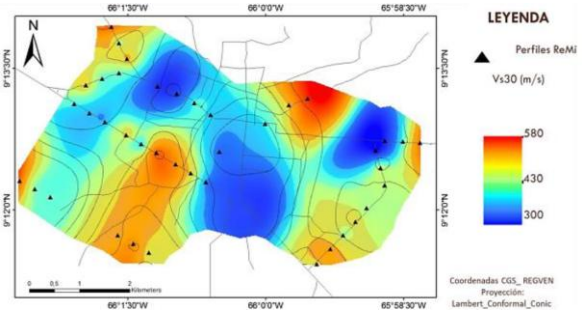


Figura 51. Mapa de distribución de velocidad Vs30 de Valle de la Pascua (Pastor, 2014).

Ciudades en el estado Trujillo (Valera, Trujillo, Boconó)

Las ciudades Valera, Trujillo y Boconó, ubicadas en Los Andes de Mérida, se encuentran asentadas sobre terrazas sedimentarias, los cuales han generado múltiples problemas de inestabilidad. Están bajo influencia de la Falla de Boconó, lo cual deriva en una amenaza sísmica alta (Valera y Trujillo, A0 = 0,28 g; Boconó, A0 = 0,36 g) según la norma COVENIN 1756 (2019). En el año 2011 se inició el proyecto "Investigación aplicada a la gestión del riesgo sísmico en el estado Trujillo" (FONACIT N° 2011001400), en el marco del cual se llevan a cabo estudios geológicos y geotécnicos, mediciones de ruido sísmico ambiental, refracción de microtremores (ReMi) y gravimétricas para la caracterización del subsuelo en las ciudades (Mazuera et al., 2015; Schmitz et al., 2015).

En Valera, ubicada en las terrazas de los ríos Motatán, Momboy, Escuque y El Caño, se midieron 26 tendidos ReMi, 121 mediciones de ruido ambiental y 222 mediciones gravimétricas. De las mediciones ReMi se obtuvieron valores Vs30 de 330 – 385 m/s en el suroeste de Valera, aumentando a 400 - 513 m/s en la medida que se acerque a los sedimentos compactados en el centro de la terraza (Mazuera et al., 2015). Los valores del período fundamental de vibración del suelo mediante el análisis H/V varían desde 0,2 s en la cercanía de los afloramientos rocosos hasta 1,3 s en las laderas de las terrazas de edad terciaria (Mazuera et al., 2015).

A partir del análisis y modelado de los datos gravimétricos se puede concluir que las zonas que presentan mayores espesores de sedimentos corresponden a la zona del aeropuerto de Carvajal (al este de Valera), alcanzando un espesor de 200 metros, la zona ubicada entre "La Beatriz" y "El Milagro" en el sureste de Valera, alcanzando más de 300 metros de espesor de sedimentos (Figura 52).

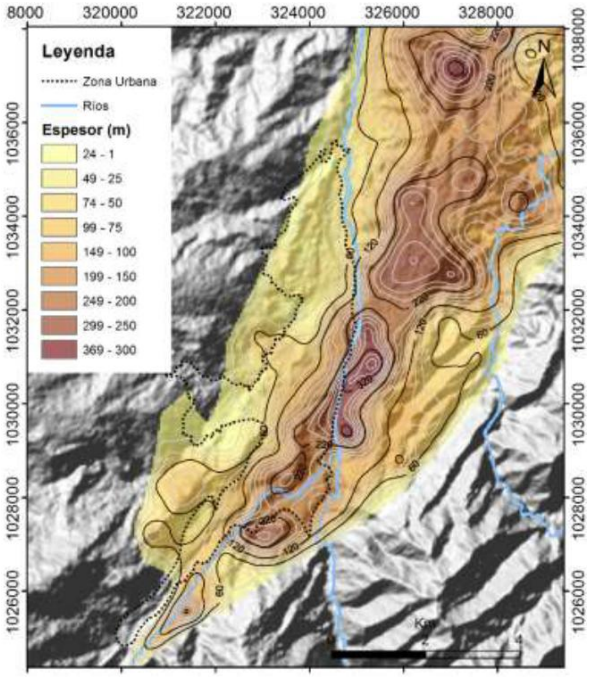


Figura 52. Espesores de sedimentos de Valera (Sánchez-Rojas et al., 2016).

El control estructural juega un papel fundamental en la distribución de espesores de sedimentos que presenta la terraza de Valera. Los espesores menores, tienden a ubicarse adyacentes a los flancos de los pliegues anticlinales, y los espesores mayores, se encuentran suprayacantes a los ejes de los pliegues sinclinales (Sánchez-Rojas et al., 2016).

Trujillo, capital del estado del mismo nombre, está ubicada sobre rocas de la Asociación Mucuchachí (Paleozoico Superior), así como hacia el sureste sobre rocas de edades cretácicas y jurásicas. Los sedimentos cuaternarios de edad Pleistoceno Medio -Superior – Holoceno son drenados por los ríos Castán y Mocoy, Los valores de Vs30, obtenidos a partir de 23 tendidos de ReMi, van de 180 m/s en la parte sedimentaria hasta 760 m/s en roca meteorizada en el sur, con mayores valores en la zona rocosa (Mazuera et al., 2015).

De las 67 mediciones de ruido ambiental se obtuvieron valores de períodos fundamentales del suelo que oscilan entre

0,1 y 0,92 s, siendo los sectores de valor es más altos Tres Esquinas y los alrededores del Estadio Cuatricentenario (Mazuera et al., 2015). A partir del modelado gravimétrico, basado en 148 puntos de medición, se determinó un máximo espesor sedimentario de 150 m en la zona central de la ciudad (Parroquia La Matriz y Estadio Cuatricentenario), y entre 50-100 m, en el sector Tres Esquinas (Figura 53). La sección ONO-ESE del modelo gravimétrico se encuentra ubicado en la zona central del área de estudio. Se observa que el espesor sedimentario de unos 140 m distribuidos de manera uniforme a lo largo de su extensión.

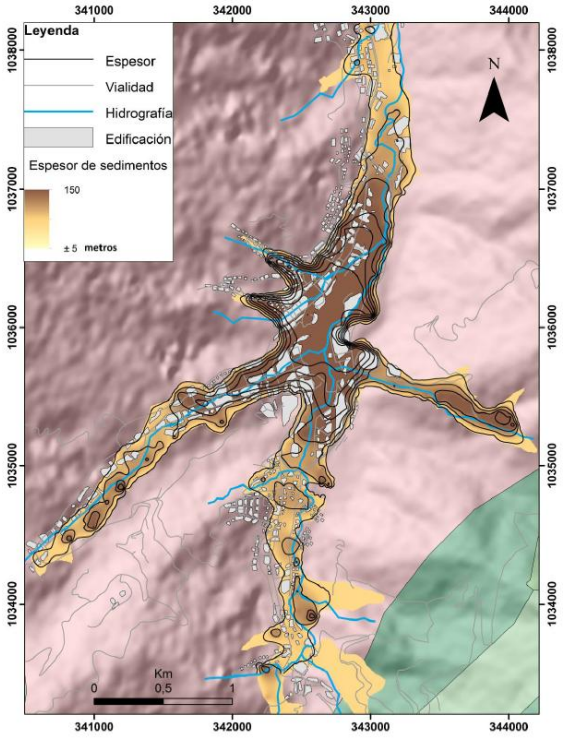


Figura 53. Mapa de espesores de sedimentos en Trujillo) (García et al., 2015).

Boconó está ubicada en pleno eje de la falla que lleva su mismo nombre sobre abanicos aluviales (Qal) de los ríos Boconó y Burate, que suprayace al basamento cristalino de edad precámbrica. Basado en el modelado 3D de 183 mediciones gravimétricas, se obtuvo que el espesor sedimentario varía entre ~50 y 150 m (Figura 54); los menores espesores, se encuentran sobre el cauce de la Quebrada Segovia (Noreste); estos espesores aumentan gradualmente hacia el oeste, alcanzando el máximo observado en la región donde confluyen dicha quebrada con el Río Boconó.

Para determinar los valores Vs30 se midieron 20 líneas sísmicas tipo ReMi; hacia el este del abanico, se determinaron velocidades mayores a 760 m/s (suelos rígidos o roca). Velocidades de Vs30 entre 550 a 750 m/s se encontraron al noreste y suroeste de la ciudad y al oeste se observaron velocidades entre 330 y 640 m/s (Mazuera et al., 2015).

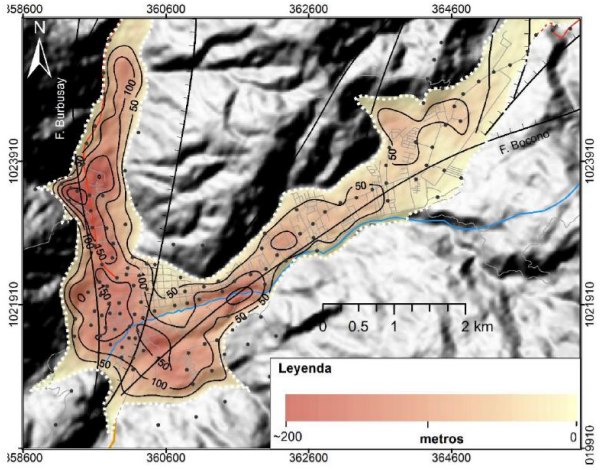


Figura 54. Espesores de sedimentos de Boconó (León et al., 2015).

Basado en la medición de 106 estaciones de ruido ambiental, Boconó muestra valores de períodos fundamentales del suelo en un rango de 0,26 y 1,20 s (Mazuera et al., 2015); los mayores valores se observan en el área distal del abanico en donde se asienta el centro de la ciudad.

Linares et al. (2026) identificaron las evidencias geomorfológicas de deformación de los sistemas de fallas activas en torno a la Falla Boconó. Indican que muchos de los movimientos en masa están asociados a la debilidad y fracturamiento de la roca están relacionados con la Falla de Boconó. Deberán finalizarse los estudios en el estado Trujillo con la elaboración de espectros de respuesta en superficie, la elaboración de los mapas de microzonas sísmicas y su implementación en ordenanzas municipales, considerando los efectos inducidos sobre todo en los bordes de terraza en Valera.

Ciudades en el estado Táchira (San Cristóbal, San Antonio del Táchira, Ureña, Michelena, Lobatera y Rubio)

Con el fin de iniciar los estudios de microzonificación sísmica en el estado Táchira, que tiene una alta amenaza sísmica debido al sistema de fallas de Boconó, FUNVISIS, en colaboración con la especialidad de Geociencias del Instituto Universitario de Tecnología Agroindustrial (IUTAI) y la maestría de Geofísica Aplicada del convenio (MPPEUCT-CUJAE) desarrollaron trabajos geofísicos con el fin de caracterizar el subsuelo en las ciudades San Cristóbal, San Antonio del Táchira, Ureña, Lobatera, Michelena y Rubio.

San Cristóbal, la capital del estado Táchira, está ubicada sobre terrazas de sedimentos cuaternarios del Pleistoceno (QT) y lutitas de la Formación Colón del Cretáceo Superior (KSC). La aceleración pico en roca es A0 = 0,32 g (COVENIN 1756, 2019). Se midió el ruido ambiental en 96 puntos, obteniéndose valores de periodos fundamentales del suelo 0,6 y 1,2 s (Figura 55). Los períodos con mayores valores, cercanos a 1 s, corresponden a una zona de sedimentos fluviales próximos a las quebradas La Machiri y La Bermeja.

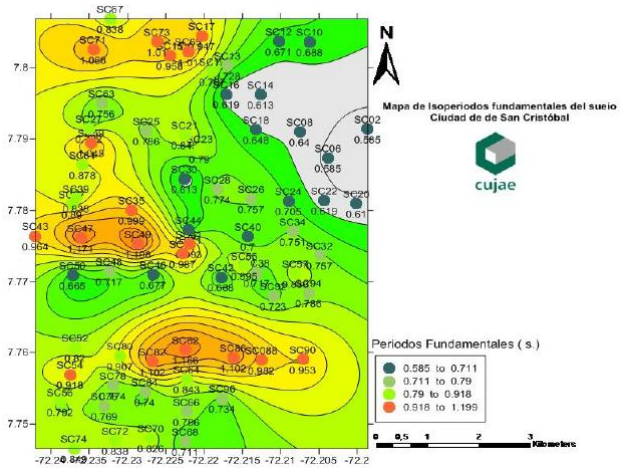


Figura 55. Mapa de períodos predominantes del suelo de San Cristóbal (Durán, 2015).

San Antonio del Táchira y Ureña están ubicadas sobre rocas terciarias y cretácicas, con cobertura de sedimentos cuaternarios. La aceleración pico en roca es alta con A0 = 0,36 g (COVENIN 1756, 2019), por la cercanía del sistema de fallas de Boconó. Los valores de Vs30 por topografía en San Antonio del Táchira, varían entre 300 m/s en el centro y hasta 760 m/s en la zona sureste. Los períodos fundamentales del suelo van desde 0,6 s en el centro norte y sur a más de 1 s hacia las zonas este y sureste de la ciudad (Figura 56, izquierda). El estimado de los espesores de los sedimentos indica más de 100 m en los extremos (Molina et al., 2015).

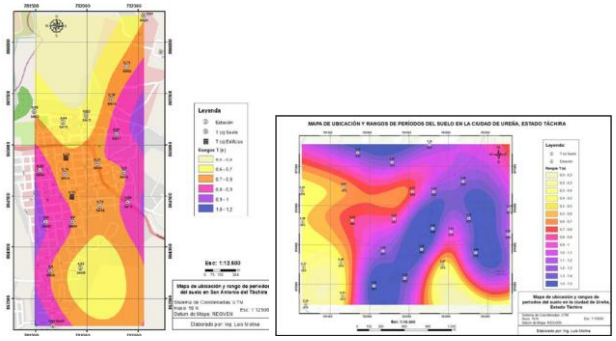


Figura 56. Mapa de períodos fundamentales del suelo en San Antonio del Táchira (izquierda) y Ureña (derecha) (Molina et al., 2015).

En Ureña los valores de Vs30 por topografía varían entre 360 m/s en el oeste y hasta más de 600 m/s en el este. La zona central presenta velocidades de Vs30 entre 425 y 500 m/s. Los períodos fundamentales del suelo van desde 0,2 s en el oeste y sureste y sur a 1,5 s en las zonas norte, sur y centro-este (Figura 56, derecha) con un estimado de los espesores de los sedimentos que superan los 200 m (Molina et al., 2015).

Michelena se encuentra asentado sobre una terraza aluvional del Cuaternario (Qal), originadas por los depósitos de los sedimentos cretácicos provenientes del páramo El Zumbador, mientras que Lobatera se ubica sobre rocas de las formaciones Colón (KSc) y Mito Juan (Kmj). La aceleración pico en roca es alta con A0 = 0,35 g (COVENIN 1756, 2019), por la cercanía del sistema de fallas de Boconó.

En Michelena los valores de Vs30 por topografía varían entre 590 m/s en el Este y 760 m/s en el oeste. Para la determinación de los períodos fundamentales del suelo se adquirieron datos en 25 estaciones y los valores de períodos van de 0,23 s en el extremo este a 0,96 s en el noroeste (Figura 57) con la mayoría de los puntos alrededor de 0,6 s, lo que resulta en un estimado de los espesores de los sedimentos alrededor de 100 m (Molina, 2016).

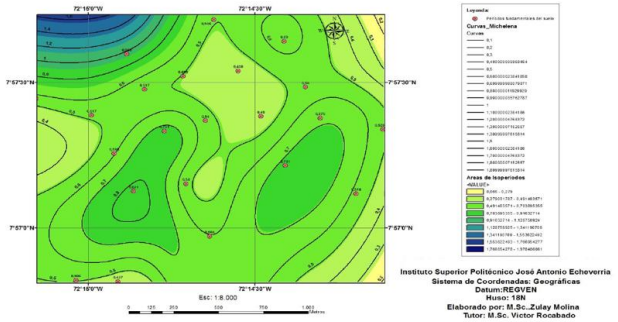


Figura 57. Mapa de períodos fundamentales del suelo en Michelena (Molina, 2016).

En Lobatera los valores de Vs30 por topografía se encuentran uniformemente entre 500 m/s y 550 m/s. Para la determinación de los períodos fundamentales del suelo se adquirieron datos en 11 estaciones y los valores de períodos van de 0,56 s en el suroeste a 1,1 s en el este (Figura 58), lo que resulta en un estimado de los espesores de los sedimentos encima de 100 m (Molina, 2016). Considerando que Lobatera está ubicado sobre rocas del Cretácico, y sin embargo muestra períodos más altos que en Michelena sobre una terraza del Cuaternario, debería haber un contraste de impedancia a ciertos niveles dentro de las rocas, posiblemente por niveles de areniscas.

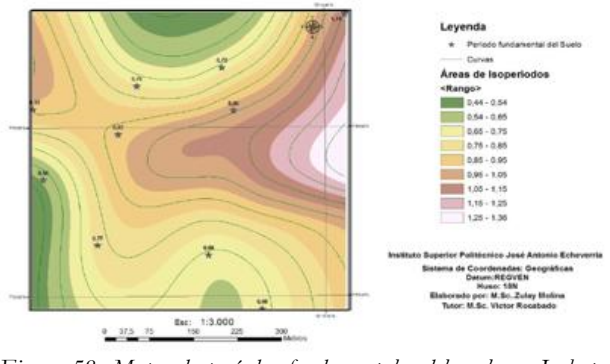


Figura 58. Mapa de períodos fundamentales del suelo en Lobatera (Molina, 2016).

La depresión de Rubio está dominada por sedimentos molásicos de edad Mio-Plioceno más una importante cobertura de terrazas Cuaternarias. La aceleración pico en roca es alta con A0 = 0,33 g (COVENIN 1756, 2019), por la cercanía del sistema de fallas de Boconó.

En Rubio los valores de Vs30 por topografía varían entre 350 y 460 m/s con los menores valores en el centro y hacia el este. Para la determinación de los períodos fundamentales del suelo se adquirieron datos en 33 estaciones y los valores de períodos varían entre 0,4 y 1,0 s con algunos valores por debajo de 0,4 s y uno de 1,3 s (Figura 59), lo que resulta en un estimado de los espesores de los sedimentos entre 100 y 150 m (Cárdenas et al., 2015). En el caso de Rubio, esta profundidad podría indicar el tope de las formaciones cretácicas.

Los trabajos realizados en el estado Táchira en el marco de la cooperación entre el Instituto Universitario de Tecnología Agroindustrial (IUTAI) y la maestría de Geofísica Aplicada del convenio (MPPEUCT-CUJAE) representan el primer paso en la microzonificación sísmica con la recopilación de la información geológica, topográfica y la medición de ruido ambiental con el apoyo de FUNVISIS.

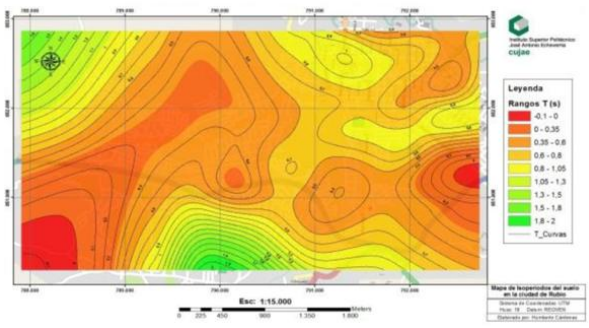


Figura 59. Mapa de períodos fundamentales del suelo en Rubio (Cárdenas et al., 2015).

Los resultados indican la presencia de espesores de sedimentos que podrían amplificar las ondas sísmicas en caso de un terremoto en esta región con una alta amenaza sísmica. Por ello deberían gestionarse fondos para completar los respectivos estudios de microzonificación sísmica con su aplicación en ordenanzas municipales en complemento de la norma de construcciones sismorresistentes.

La Guaira y Ciudad Caribia

El estado La Guaira se ubica en una franja montañosa limitada por la costa del mar Caribe en el norte con asentamientos poblacionales que se concentran principalmente en los conos aluviales. En el suroeste, en terrenos pertenecientes tanto al estado La Guaira como al Distrito Capital, se ubica Ciudad Caribia en las colinas formadas por los Esquistos Las Brisas profundamente meteorizadas. La Guaira posee una elevada amenaza sísmica (con A0 = 0,3 g para La Guaira y algo menor, A0 = 0,27 g, para Ciudad Caribia; COVENIN 1756, 2019), donde la Falla San Sebastián marca la línea de costa. La Guaira ha sufrido varios terremotos con destrucciones importantes (Grases et al., 1999); el último, el terremoto de Caracas/Litoral de 1967, con daños en edificios de mediana altura en la zona de Caraballeda. Por ello, primeras evaluaciones basadas en perfiles sísmicos determinaron un elevado espesor de sedimentos en esta zona (Murphy et al., 1969).

Posterior a los deslaves del año 1999, donde las zonas más afectadas fueron los conos aluviales entre las localidades de Catia La Mar y Camurí Grande, se desarrollaron estudios geofísicos integrados para la caracterización de los suelos en el estado La Guaira (e.g. Romero et al., 2006). En los conos aluviales, el nivel freático se ubica entre 5-10 m de profundidad y las velocidades Vs30, basadas en los análisis de mediciones sísmicas en los diferentes conos, varían generalmente entre 300 y 650 m/s en los conos (con algunas zonas con aluvionales poco consolidados con valores por debajo de 300 m/s) y valores mayores a 650 m/s en las laderas al sur (Romero et al., 2006). Esto está en congruencia con evaluaciones posteriores que incorporaron análisis de Vs30 por topografía para todo el estado La Guaira (García, 2023).

Basado en las mediciones de 130 estaciones de ruido ambiental en las zonas de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, Romero et al. (2006) determinaron valores del período fundamental del suelo entre 0,9-1,8 s con valores máximos hasta 2,7 s. Se midieron 348 estaciones gravimétricas; del modelado resultaron los mayores espesores de sedimentos en el cono de Caraballeda con valores máximos cercanos a los 450 m, espesores máximos de 180 m en el cono de La Guaira y hasta 290 m cono de Macuto (Romero et al., 2006). El modelado gravimétrico realizado por García (2023) confirmó en gran medida estos valores con un máximo de 200 m hacia la línea de costa en el cono de La Guaira, un máximo de 480 m en el cono de Caraballeda y 280 m en el Macuto. Se definieron microzonas sísmicas preliminares donde destacan en la zona de Caraballeda microzonas con espesores mayores a 400 m (Figura 60) para las cuales deberán tomarse en cuenta efectos de cuenca para el cálculo de la respuesta en superficie.

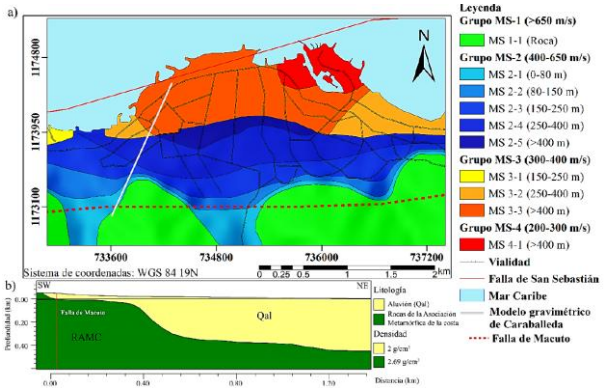


Figura 60. a) Microzonas sísmicas preliminares en el cono de Caraballeda. b) Detalle del perfil gravimétrico de Caraballeda (García et al., 2023).

Para finalizar la microzonificación sísmica de La Guaira se deberían complementar las mediciones geofísicas para tener una base uniforme para toda la parte urbanizada del estado, calcular la respuesta sísmica en superficie y elaborar ordenanzas municipales.

En Ciudad Caribia se realizaron 246 mediciones de ruido ambiental y 325 mediciones gravimétricas; los períodos

fundamentales están entre 0,2 y 0,85 s (Bueno et al., 2009), efecto de la profunda meteorización de los Esquistos Las Brisas. Del modelado gravimétrico se determinó un espesor máximo de meteorización de 45 m. A partir de la evaluación geomorfológica se identificaron superficies residuales en el área y se seleccionaron zonas con potencial de desarrollo urbanístico sin la presencia de movimientos de remoción en masa o procesos de tipo torrencial.

Guarenas-Guatire

En Guarenas y Guatire, zona de expansión de Caracas ubicada unos 20 km al este, se realizaron estudios geofísicos (e.g. Sánchez et al., 2005b) que fueron complementados desde el año 2008 con estudios de microzonificación en el marco de los proyectos de microzonificación sísmica de la Cooperación Cuba-Venezuela (González et al., 2009; Schmitz et al., 2012).

La cuenca de Guarenas-Guatire se encuentra ubicada en una depresión dentro de la Cordillera de la Costa, limitada al norte por el Macizo del Ávila con los Esquistos San Julián y al sur por el cerro Colorado (Urbani y Rodríguez, 2004) principalmente sobre Esquistos Las Mercedes y en la cuenca la Formación Guatire (cementada y no cementada) del Plio – Pleistoceno. La cuenca está delimitada por la Falla Ávila en el norte y el sistema de fallas Guarenas al sur; la aceleración pico en roca es A0 = 0,27 g (COVENIN 1756, 2019).

En una primera fase se adquirieron 390 mediciones de ruido ambiental, 600 mediciones gravimétricas y 21 perfiles sísmicos. Los períodos predominantes del suelo varían entre 0,23 y 2,2 s (Sánchez et al., 2005b). Del modelado gravimétrico 3D resultan espesores de sedimentos en la cuenca hasta 360 m en Guatire, mientras que Amarís et al. (2011b) indican un espesor máximo de 280 m.

Para determinar las velocidades de ondas de corte de los sedimentos se desarrollaron mediciones sísmicas (Sánchez, 2015) y ReMi largos (García, 2012). En Guatire los promedios de Vs de los sedimentos someros es de 420-500 m/s y de los sedimentos profundos (hasta 270 m de profundidad) 850-900 m/s y en Guarenas y en Guarenas de 400 m/s y 1000 m/s (hasta 120 m de profundidad), respectivamente; la Vs del basamento está alrededor de 1600 m/s. Morfe et al. (2015) estimaron la respuesta sísmica 2D del suelo mediante una simulación de la propagación de las ondas sísmicas y la generación de sismogramas sintéticos con un método híbrido. En la zona profunda de Guatire los espectros de respuesta de aceleración horizontal para suelo blando son mayores para todos los períodos, lo que deberá tomarse en cuenta en el cálculo la respuesta del suelo en superficie. Singer et al. (2008) evaluaron los procesos geomorfológicos activos en la cuenca.

Guerrero et al. (2024) crearon un mapa de microzonas sísmicas preliminares de los municipios Plaza y Zamora, en función del parámetro Vs30 y el espesor sedimentario de la cuenca (Figura 61). Recopilaron la información de los trabajos previos en la zona y realizaron 166 mediciones sísmicas analizadas mediante el método iMASW y de ruido ambiental para determinar las velocidades Vs30 y los períodos predominantes de vibración del suelo para su integración con los espesores de sedimentos. Queda pendiente el desarrollo de los espectros de respuesta en superficie y las respectivas ordenanzas municipales.

Como primer paso para los planes de gestión del riesgo se realizó un diagnóstico situacional con fines de gestión del riesgo considerando los estudios geológicos y geofísicos, el fondo habitacional, las líneas vitales y la fragilidad ambiental (Guasch et al., 2011). Los resultados fueron utilizados para una cartografía del riesgo sísmico detallada que permitió determinar las zonas de mayor riesgo sísmico (Morejón et al., 2014). La totalidad de las edificaciones informales, así como la mitad de las edificaciones formales presentan una alta vulnerabilidad sísmica. Los edificios de muros de concreto armado en una dirección son muy vulnerables y se sugieren medidas urgentes de reforzamiento estructural para mejorar su comportamiento.

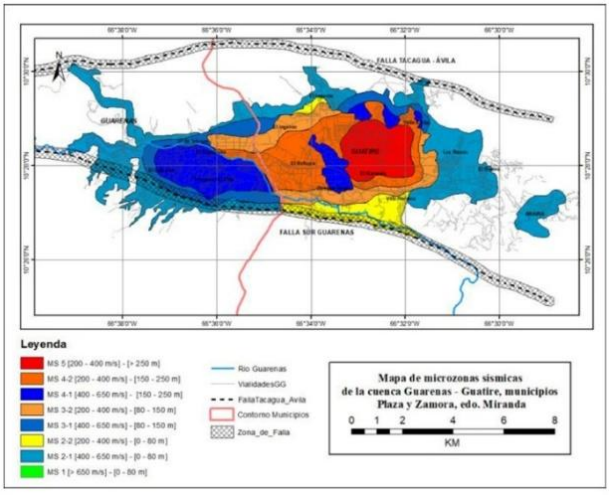


Figura 61. Mapa de microzonas sísmicas preliminares de la cuenca de Guarenas – Guatire (Guerrero et al., 2024; actualizado: Guerrero, com. pers. 2025).

En la Figura 62 se muestran los municipios venezolanos que cuentan con estudios de microzonificación sísmica y su estado de avance.

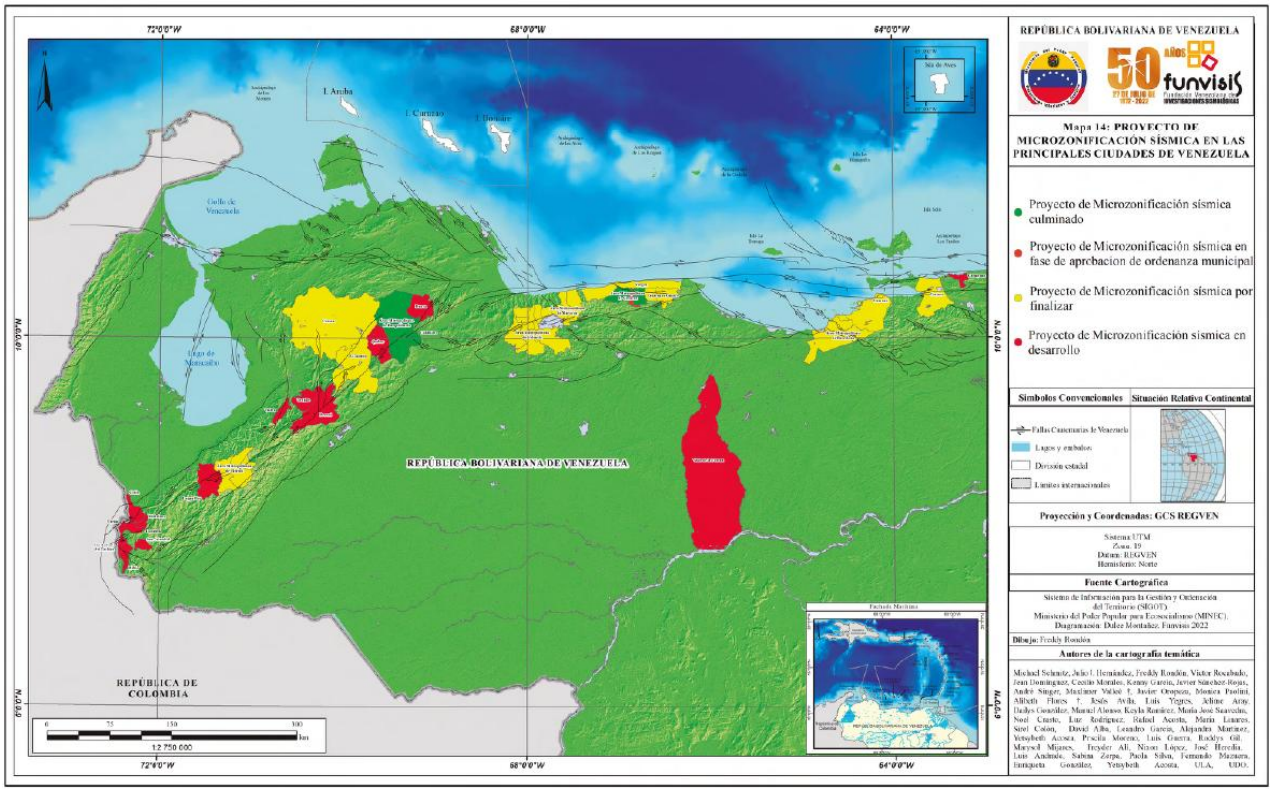


Figura 62. Avances de estudios de microzonificación sísmica en los municipios venezolanos (Schmitz et al., 2023a).

DESAFÍOS Y LIMITACIONES

Finalización o actualización de estudios

La revisión de los avances logrados en materia de microzonificación sísmica en las últimas dos décadas da constancia de un esfuerzo importante en el conocimiento del subsuelo en las zonas más sísmicas de Venezuela (ver Figura 62). En una gran parte de las ciudades se logró llegar a la definición de microzonas sísmicas preliminares, sin que se hayan definido espectros en superficie específicos para las diferentes microzonas sísmicas. Por ello, para poder llegar a la fase de implementación de los estudios, se debe realizar el cálculo de la respuesta sísmica en superficie para la definición de espectros en complemento de los espectros de la norma de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756, 2019).

En la mayoría de las ciudades no se ha hecho un énfasis sistemático en la definición de los efectos inducidos, con excepción de Caracas y Barquisimeto, dónde se ha definido el peligro de deslizamiento de laderas o del borde de la terraza, y de Cumaná, Valencia, Maracay y el Área Metropolitana de Barcelona, donde se han generado primeras evaluaciones del potencial de licuación. Estos esfuerzos deben sistematizarse ajustado al contexto geográfico de las respectivas ciudades, en el caso de las ciudades andinas y en montañas, donde el peligro de deslizamiento juega un rol importante y las ciudades costeras, muchas veces con un importante potencial de licuación.

De punto de vista tecnológico se ha dado un salto importante en estos últimos 20 años; el uso de Sistemas de Información Geográfico (SIG) permite la integración de múltiples capas de información. En la parte de investigación geofísica se ha migrado del uso de sísmica activa al uso de diferentes metodologías de sismología pasiva, desde el análisis de mediciones o arreglos de ruido hasta perfiles sísmicos pasivos analizados por ReMi o iMASW. Este cambio permite una densa adquisición de datos para determinar las propiedades del subsuelo (Vs30 y Vs hasta el basamento, período fundamental) como insumo principal para los cálculos de la respuesta sísmica en superficie y los respectivos espectros de respuesta en las microzonas sísmicas.

Retos en la implementación normativa

La principal norma legal para la implementación de los resultados de estudios de microzonificación sísmica es la norma de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756, 2019). En la definición de las acciones sísmicas (Sección 1.3.2) se indica que las ciudades con más de 100.000 habitantes deberán tener un estudio de microzonificación sísmica y que se debe establecer un plan nacional de microzonificaciones sísmicas para ello. Igualmente indica que, en caso de existir una microzonificación sísmica avalada por la autoridad competente, los valores de los mapas de amenaza sísmica deben sustituirse por los dados en ésta. Además, para la definición de los efectos de sitio, se utilizará como profundidad H la establecida en la microzonificación sísmica y el valor local de Vs30 en el sitio se comparará con el rango indicado para la microzona prescrita en la microzonificación sísmica, así como

las indicaciones para efectos inducidos. Se usarán los espectros elásticos definidos en la microzonificación sísmica y se deberán implementar las que ya se finalizaron.

La implementación es un proceso muy complejo que requiere tanto del consenso técnico (muchas veces obtenido con los funcionarios de las direcciones municipales de Ingeniería, Urbanismo y Protección Civil) como de la formulación y aprobación de las respectivas ordenanzas municipales con las respectivas comisiones de los concejos municipales (en muchos casos la comisión de urbanismo). Este proceso de implementación legal tarda hasta más tiempo que el propio estudio técnico (Figura 63), de manera que en Caracas aún falta la aprobación de las ordenanzas en los municipios Chacao y Baruta.

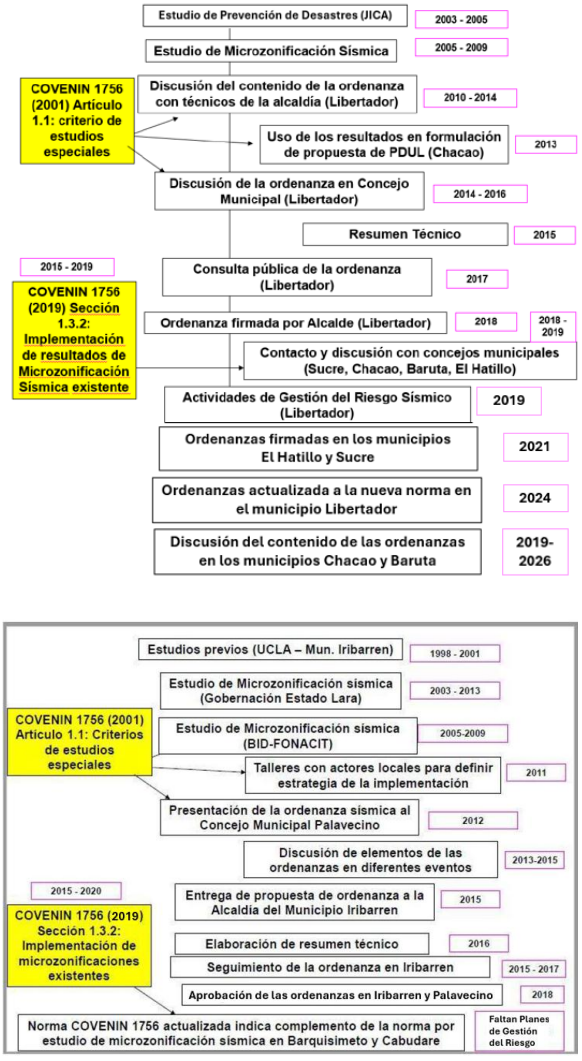


Figura 63. Diagrama de flujo de las actividades para la implementación de los resultados de los estudios de microzonificación sísmica en ordenanzas municipales en las áreas metropolitanas de Caracas (arriba) y Barquisimeto (abajo; adaptado y actualizado de Schmitz et al., 2020a; 2020b).

Sin embargo, cuando se trata de una actualización del estudio, la implementación legal puede ser más rápida, como es el caso de Bogotá (Colombia), donde el respectivo decreto municipal de la tercera revisión técnica fue implementado en el mismo año 2010 (Schmitz et al., 2025), mientras que el decreto del primer estudio de 1997 fue publicado en el año 2001. Un factor que podría haber favorecido la implementación en Bogotá respecto a Caracas es el hecho que en Bogotá el Decreto es publicado por el Alcalde Mayor de Bogotá, mientras en Caracas son 5 municipios que deben publicar las respectivas ordenanzas.

Resultados y aplicaciones prácticas

Una de las incógnitas importantes en la implementación de los resultados de estudios de microzonificación sísmica es, hasta qué punto los espectros de diseño son utilizados en la práctica en el diseño de las edificaciones o la evaluación de su vulnerabilidad (ver Figura 5). En el Área Metropolitana de Barquisimeto aún no han sido implementado, mientras que en el municipio Chacao los resultados del estudio de microzonificación sísmica se introdujeron en el diseño del Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) en 2013, de manera de promover una mayor seguridad para edificaciones altas en la zona de la cuenca con grandes espesores de sedimentos; lamentablemente, esta propuesta no ha sido introducida formalmente para su publicación.

En el Área Metropolitana de Barcelona, dónde los estudios de microzonificación sísmica fueron acompañados por una intensa interacción con los funcionarios municipales (Delgado et al., 2014), los resultados, aún preliminares, fueron considerados dentro de las herramientas de ordenación urbanística y ordenación del territorio. En aquel momento, los resultados preliminares de la microzonificación sísmica para Barcelona fueron incorporados a la propuesta del Plan de Ordenación Territorial Local (POTL) del sector Maruica, en Barcelona. Además, se estableció un vínculo operativo con el equipo que desarrollaba el Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) de Barcelona, para que las variables sísmicas generadas por FUNVISIS se integraran de manera coherente a la normativa urbana (M. Capriles, com. pers., 2026). De las discusiones técnicas en donde se evaluó cómo traducir los mapas de amenaza sísmica diferenciada, la caracterización geotécnica de suelos, los períodos fundamentales de vibración, las zonas de amplificación y los niveles de aceleración esperada, en criterios urbanísticos y constructivos vinculantes se plantearon, entre otras: 1) Restringir la construcción de piscinas elevadas sobre estacionamientos o en azoteas, debido al incremento significativo de cargas dinámicas y al riesgo asociado a modos de vibración acoplados. 2) Regular la altura máxima permitida para edificaciones en zonas donde la aceleración espectral, los tipos de suelo y la respuesta dinámica local incrementaban el riesgo estructural. 3) Incorporar refuerzos estructurales en edificaciones existentes, incluyendo soluciones prácticas como la Cruz de San Andrés en estructuras de mampostería confinada o en edificaciones sin un adecuado sistema de diafragma rígido. 4) Establecer zonas de limitación o condicionamiento del desarrollo urbano en sectores donde la microzonificación indicaba susceptibilidad

elevada a efectos como licuación. 5) Ajustar el índice de ocupación del suelo, densidades y usos, según los niveles de amenaza sísmica local.

Transferencia de conocimiento y tecnología

La clave para una exitosa implementación de los resultados de estudios de microzonificación sísmica es una acertada interacción con los funcionarios de las alcaldías, pero también con los representantes de los concejos municipales. En los proyectos en las áreas metropolitanas tanto en Caracas como en Barquisimeto se interactuó con las alcaldías, principalmente con los funcionarios de las direcciones de Infraestructura, Catastro, Planificación Urbana y Protección Civil, pero también de la Alcaldía Metropolitana de Caracas y la gobernación del estado Lara, mediante talleres con el fin de implementar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con la información del proyecto en las alcaldías y discutir las estrategias de implementación (Aguilar et al., 2015; 2016; Figura 63). Posteriormente se discutieron con representantes de los concejos municipales los contenidos de las ordenanzas municipales.

Para Caracas se desarrolló una herramienta en línea que permite calcular para cada punto en el mapa el respectivo espectro de diseño y de esta manera facilita la aplicación de los resultados en las ordenanzas municipales (Gómez et al., 2014). Con ello se puede visualizar rápidamente los efectos de cuenca por ejemplo en el este de Caracas y tomar consideraciones especiales para edificaciones altas (existentes y por construir), tal como se discute en Padrón et al. (2011), proponiendo la activación de procesos de gestión urbana que garanticen la reducción de riesgo sísmico. En estas zonas se tendrán espectros más exigentes, mientas en otras partes de Caracas pueda haber espectros menos exigentes que en la norma.

IMPACTO EN LA MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

Contenido de las ordenanzas municipales

Como principal herramienta para la implementación de los resultados de los estudios de microzonificación sísmica, las ordenanzas municipales para edificaciones sismorresistentes (Figura 64) presentan los mapas de microzonificación sísmica con las indicaciones como ubicar los respectivos edificios en las diferentes microzonas, incluyendo las franjas de fallas activas. Para cada microzona sísmica indican los diferentes espectros con sus parámetros y factores según el tipo de construcción, irregularidades y efectos topográficos con su procedimiento de diseño. Se indican los estudios geotécnicos o geofísicos que deben realizarse en el sitio, así como las consideraciones en caso de ubicarse en una ladera con peligro de deslizamientos.


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
DISTRITO CAPITAL
GACETA MUNICIPAL
MUNICIPIO BOLIVARIANO LIBERTADOR
MES XI AÑO CXXIV CARACAS, VIERNES 17 DE MAYO DE 2024 Nº 5062-A
SUMARIO
Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital.

Figura 64. Portada de la Gaceta Municipal con la Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital (2024).

De acuerdo con las indicaciones en la norma COVENIN 1756 (2019) se requiere una certificación especial como especialista en ingeniería sismorresistente para el diseño de ciertas edificaciones, como por ejemplo edificaciones de más de 8 pisos de altura en microzonas de gran espesor de sedimentos, así como indicaciones para la revisión de los proyectos. Para los funcionarios de las alcaldías se agrega una guía para revisar el cumplimiento de lo indicado en la ordenanza en los proyectos de construcción. Con el fin de tener una base sólida para la gestión del riesgo sísmico se crea un registro de edificaciones, en el cual entrarán todas las edificaciones nuevas y con modificaciones. Este será complementado en el marco de los planes especiales de gestión del riesgo sísmico mediante la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones existentes y se indican criterios de priorización para la evaluación sismorresistente y el reforzamiento estructural si fuera requerido según los estudios. Para su cumplimiento se establecen lapsos, en algunas ordenanzas asociadas con sanciones, y se proporcionan enlaces a instituciones, así como un fondo financiero que podrá ser utilizado también en caso de ocurrencia de un evento sísmico.

Evaluación sísmica y propuestas de mitigación

En el marco de los proyectos de microzonificación sísmica se evaluó en varias ciudades la vulnerabilidad de edificaciones existentes. Con el fin de establecer recomendaciones para reforzamiento de los edificios de mayor riesgo según su ubicación en las microzonas, se realizó una evaluación aproximada de edificios típicos en Caracas (Hernández, 2009c; Hernández y Domínguez, 2009). Para 13 prácticas de construcción (según los respectivos códigos) empleados entre 1939 y 2009, y para edificios de 1 a 20 pisos, se estimaron sus espectros inelásticos de diseño y se compararon con la demanda inelástica de los espectros en 8 microzonas. Este set fue dividido en grupos de dos espesores de depósitos (más y menos de 120 m), y tres alturas de edificios (bajo, mediano y alto). Con fines de evaluación se presenta el índice de confiabilidad estructural asociado a daño intermedio para el sismo de diseño (A0 = 0.28 g) (Tabla 1) para dos escenarios sísmicos menores, correspondientes a A0 = 0.1 y 0.167 g (Hernández, 2009c). En las ordenanzas municipales, la priorización de reforzamientos sísmicos de los edificios con respecto a su ubicación dentro de las diferentes microzonas, siendo su práctica de construcción y la clasificación según su

uso los factores más influyentes (añadiendo una penalización por las construcciones irregulares), se apoya en esta evaluación.

En el marco de varios proyectos de investigación se evaluaron más de 1000 edificaciones en Caracas respecto a su vulnerabilidad (López y Coronel, 2024). Presentan la metodología y los resultados de las evaluaciones del riesgo sísmico de las construcciones existentes en Caracas, tanto las formales hechas por profesionales siguiendo criterios técnicos normativos, como las construcciones informales. Se evalúan en detalle edificaciones escolares, de salud, otros edificios esenciales, edificios de vivienda y viviendas populares y puentes, se identifican los sistemas más vulnerables y se dan recomendaciones para reducir el riesgo sísmico, incluyendo propuestas de reforzamiento. En específico existen planos de reforzamiento para varias edificaciones escolares, construidos con sistemas constructivos tipificados (López et al., 2015), cuyo reforzamiento sismorresistente podría gestionarse en el marco de la aplicación de los resultados de la microzonificación sísmica y los respectivos planes de gestión del riesgo sísmico.

Tabla 1. Índices de confiabilidad estructural β, ante "A0 ~ 0.28 g" para daño intermedio # (Hernández, 2009c).

NORMA DISEÑO C/A	NORMA SÍSMICA		DEPÓSITOS SOMEROS			DEPÓSITOS PROFUNDOS		
			Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS	Edif. BAJOS	Edif. MEDIANOS	Edif. ALTOS
MOP -39	MOP-39		0.01	0.05	0.29	0.06	-0.36	-0.25
MOP-47	MOP-47	Rs > 2	-0.44	-0.98	-1.05	-0.42	-1.25	-1.49
		Rs ≤ 2	-0.12	-0.22	-0.04	-0.08	-0.60	-0.56
MOP-55	MOP-55	No ofic.	-0.22	-1.13	-1.86	-0.20	-1.39	-2.18
		Ofic.	-0.11	-0.65	-1.01	-0.08	-0.98	-1.44
MOP-CA-TC-67	MOP-67		0.34	0.64	0.99	0.40	0.18	0.42
			0.61	1.07	1.49	0.67	0.58	0.90
ACI 318-71 = COVENIN 1753-81			0.86	1.53	1.99	0.91	1.02	1.39
	COVENIN 1756-82		1.08	1.49	1.35	1.12	0.93	1.00
ACI 318-80 = ATC 3-06			1.33	1.86	1.74	1.38	1.28	1.38
COVENIN 1753-85			1.55	2.17	2.06	1.60	1.57	1.70
	COVENIN 1756-98		2.07	2.75	2.60	2.24	2.52	2.79
	COVENIN 1756:2001		1.79	1.87	1.89	1.84	1.28	1.52
	PMZS-CCS		2.09	1.87	1.77	2.09	1.87	1.77

Violeta: alto riesgo; Rojo: riesgoso; Naranja: algún riesgo; Verde: seguro/econ.; Azul: sobre-seguro.

En Guarenas y Guatire, la principal zona de expansión del Área Metropolitana de Caracas, se determinó la vulnerabilidad de las tipologías constructivas existentes y se estimaron las pérdidas humanas y materiales, además de proponer medidas generales de reforzamiento estructural (Morejón et al., 2014). Aparte de las edificaciones informales, se identificaron a los edificios de muros de concreto armado en una dirección como muy vulnerables y se sugieren medidas urgentes de reforzamiento estructural para mejorar su comportamiento.

En el Área Metropolitana de Barquisimeto se realizó una auditoria de vulnerabilidad sísmica que atendió, aparte de las edificaciones ordinarias, las edificaciones esenciales y las líneas vitales (Rojas et al., 2016). Como resultado se obtuvo una zonificación de las ciudades Barquisimeto y Cabudare por tipologías urbanas que sirve como base para un estudio detallado de vulnerabilidad, así como para el ordenamiento urbano.

En el Área Metropolitana de Valencia (AMV), Pombo (2018) hizo una evaluación de la vulnerabilidad basado en la clasificación de más de 200.000 edificaciones mediante la creación de una extensa base de datos y con inspecciones visuales rápidas con el fin de obtener índices de vulnerabilidad, de priorización y de riesgo sísmico. Se analizaron 41 modelos estructurales y resaltan la ausencia de vigas altas y el adosamiento de losa contra losa como irregularidades que poseen más de la mitad de las edificaciones estudiadas. En general, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico encontrado en el AMV es alto, afectando a más de la mitad de la muestra, en su mayoría motivado a el año de construcción, a alguna irregularidad o por la tipología constructiva.

La información de vulnerabilidad recabada y las propuestas de reforzamientos sísmico deberían utilizarse en el marco de los planes municipales de gestión del riesgo, cuya creación están indicados en la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009) y que están contemplados en las ordenanzas municipales de edificaciones sismorresistentes. Actualmente se considera la necesidad de que los riesgos de desastres sean interpretados de manera más holísticas, integrales y más sociales donde se presente un estudio de los procesos que constituyen la construcción social del riesgo. Incluso podría exponer a los responsables a una penalización (Molina, 2017). Los planes municipales de gestión del riesgo podrían contribuir considerablemente a la mitigación del riesgo sísmico mediante la sistematización de la información y los reforzamientos sismorresistentes de edificaciones, para los cuales ya existen planteamientos concretos (sobre todo para edificaciones escolares), pero, con pocas excepciones, no se han gestionado los reforzamientos.

Participación comunitaria y educación sísmica

Otro aspecto importante para la mitigación del riesgo sísmico es la incorporación de las comunidades en los estudios y la transferencia del conocimiento hacia ellas. En los proyectos de microzonificación sísmica llevados a cabo desde FUNVISIS, se ha impulsado a través del Aula Sísmica la sensibilidad hacia el riesgo sísmico mediante la formación de multiplicadores en prevención sísmica. En Caracas se han desarrollado, en cooperación con diferentes organismos unos 650 talleres, en los cuales se discutieron el proyecto de microzonificación sísmica y los resultados esperados (Aguilar et al., 2015). Parte de las actividades fue el relato de la percepción de sismos sentidos por los participantes y el uso de medidas de autoprotección en los diferentes ámbitos (en los hogares, escuelas y lugares de trabajo).

En Barquisimeto, las actividades de divulgación y capacitación sísmica desarrolladas en los sectores comunitarios brindaron una excelente oportunidad de involucrar e informar a las personas sobre la amenaza sísmica en el Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare y sobre el impacto del Proyecto de Microzonificación en su vida cotidiana, dándole al producto final un mayor valor social (Aguilar et al., 2016). Se demostró la necesidad de abordar el tema de la reducción local del riesgo de una manera global, debido a la recurrencia de otra clase de riesgos, como las lluvias y la inseguridad personal. Por el otro lado, las comunidades apoyaron activamente en el levantamiento de los datos. De esta manera, las personas conscientes de la dimensión del riesgo sísmico pueden apoyar en la gestión de los recursos y la implementación de los resultados de la microzonificación sísmica.

CONCLUSIONES

Aportes clave de la microzonificación sísmica

El desarrollo de los estudios de microzonificación sísmica en las últimas décadas ha permitido un detallado conocimiento de la amenaza sísmica y la configuración del subsuelo en un número importante de ciudades venezolanas, mayormente ubicadas en el eje de las fallas activas más importantes (Boconó, San Sebastián y el Pilar). De esta manera, la microzonificación sísmica ha pasado de ser un estudio teórico con definiciones importantes logradas mediante la interacción con grupos de investigadores extranjeros (franceses y japoneses) a una herramienta fundamental para la ordenación territorial y la reducción del riesgo sísmico.

En los trabajos se ha logrado estimar los efectos locales del suelo mediante la identificación detallada de la forma de las cuencas sedimentarias y cómo su geometría contribuye a la amplificación de las ondas sísmicas (especialmente en Caracas, Barquisimeto, Guarenas-Guatire y Cumaná). El período fundamental de vibración del suelo, derivado de mediciones individuales de ruido ambiental, es un indicativo importante de la forma de la cuenca y la amplificación de las ondas sísmicas. La metodología utilizada, tanto para los espesores de sedimentos cómo para el Vs30, indicativo para los efectos someros, ha migrado de métodos sísmicos activos (con el uso de fuentes como explosivos o mandarria) a métodos sísmicos pasivos con el ruido ambiental como fuente. Se han aplicado métodos como ReMi o iMASW que permiten un mayor número de mediciones para una cobertura densa de mediciones, complementando información de Vs30 proveniente del análisis de la topografía.

Los métodos geofísicos de investigación del subsuelo se aplican juntamente con los análisis geomorfológicos, geológicos y geotécnicos para determinar la delimitación de las diferentes unidades, así como la identificación de efectos inducidos como el potencial de licuación, el peligro de deslizamientos en laderas o la afectación por ruptura de falla en superficie.

Mediante el cálculo de la amenaza sísmica local y de la respuesta sísmica en superficie, incorporando efectos de cuenca 2D y 3D, se han definido espectros de respuesta locales en las diferentes microzonas sísmicas que complementan los espectros de la norma de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756, 2019) en el ámbito local. La incorporación de los mapas de amenaza sísmica local y los efectos inducidos en los planes de desarrollo urbano contribuyen a limitar construcciones en zonas de alta amenaza y de esta manera a la mitigación del riesgo sísmico.

Reflexión final sobre los avances y desafíos

Se han logrado en las últimas décadas estudios de microzonificación en las principales áreas metropolitanas venezolanas (Caracas, Barquisimeto, Valencia, Maracay, Barcelona, Mérida, Cumaná) y otras ciudades en zonas de alta amenaza sísmica gracias a la cooperación entre FUNVISIS y universidades nacionales e internacionales, produciendo resultados aplicables que van desde la caracterización detallada del subsuelo hasta la formulación de ordenanzas municipales.

Los principales desafíos son, aparte del desarrollo de espectros de respuesta en superficie para las microzonas sísmicas en las ciudades con información avanzada sobre la configuración del subsuelo, la interacción eficiente con los actores municipales que permite la elaboración de ordenanzas municipales, su aprobación y efectiva aplicación. Estos conocimientos deben incluirse también en planes de gestión de riesgos para una eficiente mitigación del riesgo sísmico. En este sentido, un tema fundamental son las construcciones en asentamientos no controlados, donde la mitigación puede lograrse mediante la planificación urbana, evitando el uso de zonas de alto riesgo.

Los estudios de microzonificación sísmica existentes deberán ampliarse a zonas de crecimiento urbano con la aplicación de metodologías eficientes con los nuevos avances tecnológicos. Es indispensable la transferencia del conocimiento a la práctica de la ingeniería civil, las entidades municipales los constructores y a las comunidades. La reducción efectiva del riesgo sísmico dependerá de la implementación de los resultados de los estudios de microzonificación sísmica en ordenanzas municipales u otras herramientas de índole de planificación urbana y de gestión del riesgo sísmico y su aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Le dedico este trabajo a la memoria del Ing. Enrique Gajardo, quien me ha impulsado hacia la aplicación de la microzonificación sísmica en Venezuela. Un agradecimiento muy especial va al Ing. Julio J. Hernández, quien ha diseñado la metodología utilizada en los proyectos de microzonificación sísmica y quien ha participado ampliamente en su ejecución. Por último, quiero agradecer al grupo grande de profesionales y estudiantes de los equipos de trabajo de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y de varias universidades nacionales e internacionales – sin ellos no hubiera sido posible realizar los proyectos. Agradezco el apoyo de FUNVISIS para la realización de los proyectos y al FONACIT para su financiamiento.

REFERENCIAS

Abeki, N., Seo, K., Matsuda, I., Enomoto, T., Watanabe, D., Schmitz, M., Rendón, H., Sánchez, A. (1998a). Microtremor observations in Caracas city, Venezuela. In: Irikura et al. (eds.), The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Balkema, 619-624.

Abeki, N., Watanabe, D., Hernández, A., Pernía, A., Schmitz, M., Avendaño, J. (1998b). Microtremor observations in Cumaná city, Venezuela. In: Irikura et al. (eds.), The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Balkema, 613-618.

Abreu, R., Schmitz, M. (2009). Simulación numérica de la respuesta sísmica 2D de Cumaná y Barquisimeto aplicando el método de elementos espectrales. V Col. Microzon. Sís., Caracas, 4p.

Abreu, R., Alvarado, L., Schmitz, M., Hernández, J.J. (2016). 6.3 Efectos de cuenca 2D. En: Schmitz, M., Morales, C. (Editores). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 141-148.

Aguilar, A., Cano, V., Guzmán, J.., Marín, W., Quintero, B. (2015). 6.2. Divulgación y capacitación en prevención sísmica, en: Schmitz, M., Singer, A. (Editores), Microzonificación sísmica de Caracas. FUNVISIS, p. 165-169.

Aguilar, A., Quintero, B. Guzmán, J.., Marín, W., Figueira, W., Rodríguez, L., Quinteros, C. (2016.) 6.6. Divulgación y capacitación en prevención sísmica, en: Schmitz, M., Morales, C. (Editores), Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 154-157.

Aki, K. (1993). Local site effects on weak and strong ground motion. Tectonophysics, 218, 93–111.

Acosta, R., Schmitz, M., Rondón, F. (2021). Mapa de Vs30 de Carúpano a partir de la topografía. XVI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 2p.

Acosta, Y., Sánchez-Rojas, J., Pastor, P., García, K., Schmitz, M. (2018). Integración de estudios geofísicos en Valle de la Pascua con fines de microzonificación sísmica. JIFI-UCV, 9p.

Alba, D. (2022). Determinación de microzonas sísmicas del Área Metropolitana de Barcelona basadas en la evaluación de Vs30 y espesores sedimentarios. TEG, USB, 87p.

Allen, T., Wald, D. (2009). On the use of High-Resolution Topographic Data as proxy for seismic site conditions (Vs30). Bull. Seismol. Soc. Am, 99, (2A), 935-943.

Ali, F. (2021). Evaluación del potencial de licuación de suelos utilizando información geofísica y geotécnica en Maracay, estado Aragua. TEG, UCV, 126p.

Alonso, J.L. (1975). La microzonificación sísmica como elemento imprescindible en el planeamiento urbano. Bol. Col.-Ing. Ven., 304.

Alonso, J.L. (1976). Microzonificación sísmica de Mérida - espectros sísmicos, coeficientes de corte basal de diseño y recomendaciones finales. Ministerio de Obras Públicas, Oficina Técnica Especial del Sismo, Caracas, 48p.

Alonso, J.L., Larotta, J. (1977). Seismic Risk and Seismic Zoning of the Caracas Vallez. 6to Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, Nueva Delhi, abstract.

Amarís, E., Schmitz, M., Murphy, V. (2011a). Map of sediment thickness as primary input for the Caracas Seismic Microzoning Project. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago de Chile, Paper Nr. MOSAM, 12p.

Amarís, E., Moncada, J., Schmitz, M. (2011b). Modelo gravimétrico del basamento de la cuenca de Guarenas y Guatire estado Miranda. Venezuela. I Congr. Ven. Geociencias, Caracas, 4p.

Aranguren, R. (2018) aportes para la integración de estudios de zonificación de amenazas naturales en la gestión urbana del Municipio Libertador, Mérida. TEG-Msc, ULA, 94p.

Aray, J. (2008) Estudio geofísico integrado en la ciudad de El Tocuyo y zonas adyacentes. (Municipio Morán, Estado Lara). TEG, UCV.

Aray, J., Schmitz, M., Amaris, E. y 19 co-autores (2010). Informe técnico de avance proyecto LOCTI: microzonificación sísmica en la ciudad de Cumaná, estado Sucre. FUN – 029, 2010. Inédito, 9 anexos, 60p.

Aray, J., Rocabado, V., Sánchez-Rojas, J., Morales, C., Schmitz, M., Álvarez, F. (2015). Resultados de estudios geofísicos realizados en la ciudad de Cumaná como aporte al proyecto de microzonificación sísmica de la ciudad. X CONVESIS, Cumaná, 6p.

Audemard M., F.A., Machete, M.N., Cox, J.W., Dart, R.L., Haller, K. (2000). Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. US Geological Survey, Open-file report 00-018, 72p. + map.

Audemard, F.A., Romero, G., Rendón, H., Cano, V. (2005). Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions. Earth-Sci. Rev., 69, 181–233.

Audemard, F.A., Alvarado, L., Arnaiz-Rodríguez, M. y 11 co-autores (2025). Sismicidad de profundidad intermedia de la losa de subducción de las Antillas menores, próxima a la península de Paria, Venezuela. Bol. Geol. 47 (1), 105–127.

Ávila, J., Schmitz, M., Oropeza, J., García, K., Moncada, J.A. 2012. Estimación de espesores sedimentarios de las ciudades de Carora, El Tocuyo, Duaca, Tamaca y Quibor como aporte en la microzonificacion sísmica en el estado Lara. Informe Técnico, FUN – 021, 2012, 85p.

Ávila, J., Oropeza, J., Gómez, A., Schmitz, M., García, K. (2014). Integración de datos geofísicos y geológicos para la microzonificación sísmica de Carora, estado Lara. GEOS, 46(1), 1-17.

Ávila, J., Aray, J., Colón, S., Schmitz, M. (2016). Microzonas sísmicas de El Tocuyo, estado Lara basadas en integración de datos geofísicos y geológicos. VII Col. Microzon. Sís., Mérida, 26p.

Bard, P.Y. (1999). Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? In: Irikura, K., Kudo, K., Okada, H., Sasatani, T. (eds.), The Effects of Surface Geology on Seismic Motion - Recent progress and new Horizon on ESG Study, vol. 3, Balkema, p. 1251-1279.

Barrios, I., Rendón, H., Schmitz, M., Martínez, A. (2019). Relocalización absoluta y relativa de la secuencia sísmica de Lagunillas, estado Mérida, Venezuela**.** Rev. Fac. Ing. UCV, 34(1), 9p.

Bechtold, M. (2004). Mapa geológico digital de Barquisimeto y alrededores con énfasis cuaternario. Informe inédito. FUNVISIS.

Bellizzia, A., Rodríguez, D. (1968). Consideraciones sobre la estratigrafía de los estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo. Bol. Geol., Caracas, 9(18), 515-563.

Bezada, M.J., Magnani, M.B., Zelt, C.A., Schmitz, M., Levander, A. (2010). The Caribbean–South American plate boundary at 65◦W: results from wide-angle seismic data. J. Geophys. Res. 115, B08402.https://doi.org/10.1029/ 2009JB007070.

Boore, D.M. (2004). Estimating Vs (30) (or NEHRP site classes) from shallow velocity models (depths < 30 m). Bull. Seismol. Soc. Am., 94, 591-597.

Bueno, M., Schmitz, M., Hernández, J.J. y 13 co-autores (2009). Caracterización física del terreno con fines de Microzonificación Sísmica de la zona del proyecto "Ciudad Camino de los Indios". V Col. Microzon. Sís., Caracas, 4p.

Campos, A., Schmitz, M., Cataldi, A. (2004). Definición de las relaciones entre parámetros geofísicos y geotécnicos en pozos disponibles a lo largo de la línea 4 del Metro de Caracas. XVIII Seminario de Geotecnia, Caracas, 12p.

Cárdenas, H., Rocabado, V., Schmitz, M. (2015). Caracterización sísmica del suelo de la ciudad de Rubio por el método H/V, municipio Junín, estado Táchira. X CONVESIS, Cumaná, 10p.

Casalena, M. (2011). Caracterización geofísica del suelo somero mediante la aplicación del método de refracción por microtremores (ReMi) en la ciudad de Maracay - estado Aragua. TEG, UCV, 154p.

Cerrada, M., Klarica, S., Choy, J., Guada, C., Aranguren, R., Laffaille, J., Mazuera, F., Reinoza, C., Schmitz, M., Rocabado, V., Morales, C., Yegres, L. (2015). Determinación de microzonas sísmicas preliminares del Área Metropolitana de Mérida. Bol. Geol., 37 (1), 67-74.

CETE-Méditerranée (1993). Microzonage Venezuela 1992: El Vigía y Maracaibo. Premier bilan des séismes enregistrés. Descriptif des traitements effectués. Spectres des séismes sur les sites. Rapports spectraux site/référence. Rapports signal/bruit. 5 vol., Niza.

Cetin, K.O Seed, R.B., Moss, R.E.S., Der Kiureghhian, A. (2001). Field case histories for SPTBased In Situ Liquefaction Potential Evaluation. Geotechnical Research Rep. No. UCB/GT-2000/09.

Colón, S. (2009) Estudio geológico integrado de la cuenca de El Tocuyo - Estado Lara, con fines de microzonificación sísmica. TEG, ULA, Mérida.

Cornell, C. (1968). Engineering seismic risk analysis. Bull. Seismol. Soc. Am., 58, 1583-1606.

Cornou, C., Cadet, H., Rocabado, V., Schmitz, M., Rendón, H., Causse, M., Wathelet, M. (2011). Shear-wave velocities in Caracas inferred from inversion of phase velocities and ellipticities of Rayleigh waves. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 153–159.

Coronel D., G., López, O. (2010). RISEV: un Sistema para la Evaluación de Riesgo Sísmico en Escuelas de Venezuela Basado en SIG. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME). Presentado en Taller sobre SIG, FUNVISIS.

COVENIN (2001). Norma venezolana COVENIN 1756-1:2001, Edificaciones sismorresistentes. Parte 1: Articulado (1ra. Revisión), Comisión Venezolana de Normas Industriales, FONDONORMA, FUNVISIS, Caracas, http://www.sencamer.gob.ve/ sencamer/normas/1756-01.pdf.

COVENIN (2019). Norma venezolana COVENIN 1756-1:2019, Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos (2da. Revisión), Comisión Venezolana de Normas Industriales, FODENORCA, Caracas, http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1756-1-2019.pdf .

Crasto, N., Acosta, R., Rondón, F., Schmitz, M. (2021). Modelos gravimétricos 2D de Cariaco. XVI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 2p.

Cruces, J., Izarra, C., Schmitz, M. (2008). Modelado gravimétrico 3D en Cumaná usando datos procesados a partir de nuevos estándares. XIV Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 7p.

Dasco, A., Rodríguez, L., Singer, A., Quintero, B. (2013). El caso Cubiro, una experiencia de gestión de riesgo compartida en una población del interior de Venezuela afectada por deslizamientos de tierra. IV Col. Mesoam. Gest. Riesgo, Mexico, 8p.

Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley Especial de Regularización Integral de la Tenencia de la Tierra de los Asentamientos Urbanos o Periurbanos (2011). Decreto 8.198 publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nº 39.668 del 6 de mayo de 2011.

Delavaud, É. (2007). Simulation numérique de la propagation d'ondes en milieux géologiques complexes: application à l'évaluation de la réponse sismique du bassin de Caracas. PhD thesis, IPGP, France, 155p.

Delgado V., J., Jiménez, V., Barreto, S. y 19 co-autores (2014). Estrategia V.I.D.E.O. Módulo de Transferencia de conocimientos del Proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos. VI Col. Microzon. Sís., Valencia, 5p.

Dengo, G. (1951). Mapa geológico de la región de Caracas a escala 1:50000. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología.

De Santis, F., Hernández, R. (1999). Caracterización de los suelos que licuaron durante el sismo del 9 de Julio de 1997 en Cariaco, Estado Sucre, VI CONVESIS, Mérida, 10p.

Duque, M.E., García, K., Schmitz, M. (2011). Caracterización de los sedimentos en Duaca, Tamaca, Carora, Quibor y El Tocuyo, Edo. Lara, aplicando el método ReMi. I Congr. Ven. Geociencias, Caracas, 4p.

Durán, L. (2015). Caracterización sísmica del suelo en la ciudad de San Cristóbal Estado Táchira a través del método de Nakamura. TEG-Msc, Geofísica Aplicada, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría – CUAJE, 62p.

Duval, A.-M., Mendoza, J., Méneroud, J.-P., Prida, F., De Santis, F., Singer, A., Vidal, S. (1995). Experimental Microzonation in Venezuela, 5th International Conference on Seismic Zonation, Oct. 17-19, 1995, Nice, France, EERI, (3), 2227-2234.

Duval, A.-M., Méneroud, J.-P., Vidal, S., Singer, A. (1998). Relation between curves obtained from rnicrotremor and site

effects observed after Caracas 1967 earthquake, 11th European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam, p. 1-9.

Escobar, V.A., Schmitz, M., López, N., Sánchez-Rojas, J., Rondón, F. (2023). Aporte del mapa Vs30 obtenido del análisis de ondas superficiales (iMASW y ReMi) para la microzonificación sísmica de Maracay, Venezuela. II Congr. Ven. Geociencias, Caracas, 2p.

Esteva, L. (1967). Criterios para la construcción de espectros para diseño sísmico. Boletín Técnico del IMME, 19, 49-73. XII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural y III Simposio Panamericano de Estructuras, Caracas.

Farías, V. (2017). Inversión 1D de perfiles de ruido sísmico ambiental en la ciudad de Cumaná, Venezuela. TEG, USB, 64p.

Feliziani, P., Piscitelli, G., Castillo, A. (2004) Sistema de Información Geográfica aplicado al subsuelo del Área Metropolitano de Caracas – Proyecto SIGAMC. XVIII Seminario de Geotecnia, Caracas, Memorias.

Flores, Y. (2006) Evaluación sísmica y sondaje geotécnico de pozos en la ciudad de Caracas. TEG, UCV, 128p.

FUNVISIS, IMME-UCV, UDO, ACV, CAV and CI-Sucre (1997). The July 9, 1997, Cariaco, Eastern Venezuela Earthquake. EERI-Newsletter, 31 (10), EERI Special Earthquake Report, 1-8.

García, C.E. (2019). Caracterización de suelos de la ciudad de Cumaná, estado sucre aplicando arreglos de multicanal con geófonos de 1 Hz. TEG, USB, 114p.

García, K. (2012). Caracterización geofísica en Guarenas-Guatire mediante la aplicación de técnicas de arreglos de vibraciones naturales. TEG-Msc., UCV.

García, K., Morales, C., Sánchez, J., Schmitz, M. (2006). Determinación de velocidades de ondas de corte (Vs30) en el Área Metropolitana de Caracas, a partir de conversión SPT-velocidad de ondas de cortes, análisis de ondas superficiales y sísmica de refracción. VIII CONVESIS, Valencia, 9p.

García, K., Morales, C., Schmitz, M., Hernández, J.J., Masy, J., Tagliaferro, M., Andrade, L., Rojas, R. (2016). 4.2 Características geofísicas y geotécnicas someras de los sedimentos (Vs30). En: Schmitz, M., Morales, C. (Editores). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 64-71.

García, K., Hernández J.J., Rocabado, V., Schmitz, M. (2016) 6.4. Selección de microzonas en sedimentos y laderas. En: Schmitz, M., Morales, C. (Editores). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 148-151.

García, L. (2023). Determinacion de microzonas sísmicas de La Guaira, basada en Vs30, estudios gravimétricos y espesores sedimentarios. TEG, USB, 132p.

García, L., Rondón, F., Crasto, N., Schmitz, M. (2023). Microzonas sísmicas preliminares del estado La Guaira, en base a evaluación de Vs30, estudios gravimétricos y espesor de sedimentos. II Congr. Ven. Geociencias, Caracas, 2p.

García, O., Sánchez-Rojas, J., Rocabado, V., Mazuera, F., Schmitz, M. (2015). Modelado gravimétrico 3D en torno a la ciudad de Trujillo, estado Trujillo. X CONVESIS, Cumaná, 9p.

Gascón, R., Paolini, M., Schmitz, M. (2009). Determinación de los períodos fundamentales del suelo en las ciudades de Barcelona, Puerto La Cruz y Lecherías, como aporte a la microzonificación sísmica. V Col. Microzon. Sís., Caracas, 4p.

Gil, R. (2021). Mapa de clasificación de microzonas sísmicas, con base en las velocidades Vs30, los espesores de sedimentos y el potencial de licuación en la ciudad de Valencia, Estado Carabobo. TEG, UCV, 149p.

Goitia, M. (2012). Modelado gravimétrico del basamento de la zona norte de la ciudad de Valencia, Edo. Carabobo. TEG, USB, 105p.

Gómez, J., Schmitz, M., Coronel, G., Morales, C., Santana, L.A., Brugueras, C., Rodríguez, A. (2014). Aplicación WEB para el cálculo de los espectros de diseño de las microzonas sísmicas de Caracas. VI Col. Microzon. Sís., Valencia, 5p.

González, E. (2011). Formas de relieve y amenazas asociadas como criterios en las sectorizaciones de los planes urbanos. TEG-Msc, USB.

González, J., Schmitz, M., Masaki, K., De Santis, F., Sánchez, A. (1999). Characterization of the soils in Cariaco using seismic refraction, rnicrotremor measurements and geotechnical information AGU Spring Meeting, Boston, S228.

González, J., Schmitz, M., Audemard, F., Contreras, R., Mocquet, A., Delgado, J. and De Santis, F. (2004). Site effects of the 1997 Cariaco, Venezuela earthquake. Engineering Geology, 72, 143-177.

González, M., Álvarez, L., Schmitz, M. y 9 co-autores (2009). Principales avances del proyecto microzonificación para la planificación urbana y la gestión local de riesgo en Guarenas y Guatire, Venezuela. III Simposio de Sismología y Riesgos Geológicos, III Convencion Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana, 9p.

Graffe, J.L. (2002). El fenómeno de licuación en el subsuelo del área Norte del Estado Anzoátegui, un enfoque actual de evaluación y análisis. TEG, UDO.

Grases, J., Altez, R., Lugo, M. (1999). Catálogo de sismos sentidos o destructores, Venezuela, 1530-1998. Acad. Cienc. Fis. Mat. y Nat. y UCV-FI, Ed. Innovación Tecnológica, FI-UCV, 654p.

Guasch, F., Rodríguez, L., Vega, I., Morales, C., Schmitz, M., Miró, C., Viete, H., Rada, F., González, M., Noda, F., Amaris, E. (2011). Diagnóstico situacional con fines de gestión de riesgo en las ciudades de Guarenas y Guatire, estado Miranda, Venezuela. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 33–48.

Guerrero, L., Moreno, P., Schmitz, M., Rondón, F., González, D. (2024). Estudios del subsuelo mediante la aplicación de los métodos IMASW y la Relación Espectral H/V para la Microzonificación Sísmica de los Municipios Plaza y Zamora de la Cuenca Guarenas – Guatire. JIFI-EAI-UCV, 8p.

Guillen, G. (2016). Determinación de la condición local del subsuelo a partir de mediciones de microtremores (ReMi) en la población de Lagunillas, Estado Mérida. TEG, ULA, 102p.

Hackley, P., Urbani, F., Karlsen, A.W., Garrity, C.P. (2006). Geologic shaded relief map of Venezuela U.S. Geological Survey, open file report 2005–1038. https://pubs.usgs.gov/of/ 2005/ 1038/index.html; 2006.

Hernández, A. (2008). Caracterización geofísica en la zona Tamaca-Duaca Del estado Lara, mediante estudios Gravimétricos y de ruido sísmico ambiental. TEG, UCV, 184p.

Hernández, J.J. (2009a). Revisión de la sismicidad y modelo sismogénico para actualización de las evaluaciones de amenaza sísmica en la región norcentral de Venezuela. IX CONVESIS, Caracas, 15p.

Hernández, J.J. (2009b). Incorporación de la información macrosísmica en modelo sismogénico de Venezuela con fines de evaluaciones de amenaza sísmica. V Jornadas Venezolanas de Sismología Histórica, Mérida, 5p.

Hernández JJ. (2009c). Confiabilidad sísmica-estructural de edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela, C.I.V., Jornadas 18 y 19 de septiembre de 2009, 107p.

Hernández, J.J., Domínguez, J. (2009). Evaluación de edificaciones tipificadas. Sub.capítulo 5.3, Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007. Inédito, p. 701-816.

Hernández, J.J., Schmitz, M. (2009). Evaluación actualizada de amenaza sísmica para las microzonificaciones de Caracas, Barquisimeto y Cabudare. V Col. Microzon. Sís., Caracas, 4p.

Hernández, J.J, Schmitz, M. (2019). Amenaza sísmica en los Andes de Mérida, Venezuela. Rev. Fac. Ing. UCV, 34(2), 15p.

Hernández, J.J., Schmitz, M. (2023). Amenaza sísmica con efectos de sitio y análisis de recurrencia de intensidades para Caracas. Rev. Ing. Sís., 110, 45-85. https://www.smis.mx/index.php/RIS/index.

Hernández, J.J., Schmitz, M., Audemard, F., Malavé, G. (2006). Marco conceptual del proyecto de microzonificación de Caracas y Barquisimeto. VIII CONVESIS, Valencia, 8p.

Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., Cano, V. (2008). Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. 50 aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), Caracas, 14p.

Hernández, J.J., Schmitz, M., Molina, D., Azuaje, J. (2009). Amenaza sísmica local. Capítulo 2.4 del Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007, Inédito, p. 150-250.

Hernández, J.J., Schmitz, M., Delavaud, É., Cadet, H., Domínguez, J. (2011). Espectros de respuesta sísmica en microzonas de Caracas incluyendo efectos de sitio 1D, 2D y 3D. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 49–66.

Hernández, J.J., Azuaje, J., Molina, D. (2016). 3.4 Amenaza sísmica local. En: Schmitz, M., Morales, C. (Editores). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 51-56.

Hernández, J.J., Schmitz, M., Zerpa, S. (2021). Evaluación de la amenaza sísmica para la microzonificación sísmica de Carora. XVI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 2p.

Hernández, J.J., Valleé, M.†, Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Feliziani, P. (2023). Peligro de deslizamientos en Caracas. En: Rodríguez, L.M. & equipo de apoyo técnico, Atlas Sismológico de Venezuela, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, ISBN: 978980 8017045, Parte 3 Geofísica, p. 110-115.

Hinojosa, M.G., Schmitz, M., Sánchez-Rojas, J., Rondón, F. (2021). Caracterización de la cuenca de Carúpano mediante el uso de las curvas de elipticidad de ondas de Rayleigh. XVI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 2p.

Hobiger, M., Bard, P.-Y., Cornou, C., Bihan, N.L. (2009). Single Station Determination of Rayleigh Wave Ellipticity by Using the Random Decrement Technique (RayDec). Geophys. Res. Lett., 36(14). doi:10.1029/2009gl038863.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2004). Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes. Proceedings of the 11th ICSDEE & 3rd ICEGE. p 32-56.

Kantak, P. (2001). Sediment thickness, an east-west cross section, shallow seismic velocities, and microtremor measurements in the Caracas valley. Graduate thesis, Universität Bonn (Germany) / FUNVISIS, Caracas, 268 p (published on CD in GEOS, 35 (2002), UCV, Caracas).

Kantak, P., Schmitz, M., Audemard, F. (2005). Sediment thickness and a west-east geologic cross section in the Caracas Valley. Rev. Fac. Ing. UCV, 20(4), 43-56.

Lang, D.H., Raschke, M., Schwarz, J. (2004). The Cariaco, Venezuela, earthquake of July 09, 1997: strong-motion recordings, site response studies and macroseismic investigations. Schriftenreihe der Bauhaus-Universität Weimar, 116p.

Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (1983). Ley Orgánica Derogatoria en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nº 38.633 del 27 de febrero de 2007.

Ley Orgánica de Ordenación Urbanística (1987). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°33.868 del 17 de diciembre de 1987.

Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (2001). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°5.557, Extraordinaria del 13 de noviembre del 2001.

Ley Orgánica del Sistema Venezolano para la Calidad (2002). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°37.555 del 23 de octubre de 2002.

Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nº 39.095 del 9 de enero de 2009.

Ley de Tierras Urbanas (2009). Gaceta Oficial Extraordinario de la República Bolivariana de Venezuela Nº 5.933 del 21 de octubre de 2009.

Linares, M., Rodríguez, L., García, I., González, O., Crasto, N., Alvarado, J.L., Schmitz, M., García, M.V., Valero, D., Abreu, O. (2026). Evidencias geomorfológicas de deformación de los sistemas de fallas activas en Boconó. Contribución al proyecto "Análisis de sistemas dinámicos sismológicos mediante gráficos de recurrencia y mapas autoorganizados para caracterizar la sismicidad en Venezuela" (Fonacit 2024PGP100), Informe inédito, FUNVISIS, 21p.

López, N. (2021). Generación de mapas Vs30 y microzonas sísmicas, mediante el análisis multicanal de ondas

superficiales interferométrico (IMASW) y ensayos geotécnicos en Maracay, estado Aragua. TEG, UCV, 99p.

López, O.A., Coronel D., G. Editores (2024). Riesgo sísmico en Caracas y estrategias de mitigación. Ediciones de la Biblioteca EBUC-UCV, ISBN: 978-980-18-3841-8, 510p.

López, O. A., Marinilli A., Coronel D., Editores (2015). Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela. IMME-UCV, FUNVISIS y FEDE. ISBN: 978-980-12-7455-1 Depósito Legal: If25220146202146, 1046p.

Louie, J.N. (2001). Faster, better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. Bull. Seismol. Soc. Am., 91: 347-364.

Martínez, C. (2007). Análisis espectral y modelado 3D de datos gravimétricos de la cuenca de Carora, estado Lara – Venezuela. TEG, UCV, 185p.

Masaki, K., González, J., De Santis, F., Schmitz, M., Pernía, A., Sánchez, A., Saguchi, K., Duque, H. (1999). Caracterización de los suelos de Cariaco mediante mediciones de ruido ambiental, sísmica de refracción y análisis de información geotécnica. VI CONVESIS, Mérida, 6p.

Mazuera, F., Sánchez, J., Cerrada, M. y 13 co-autores (2015). Investigación aplicada a la gestión del riesgo sísmico en las ciudades de Valera, Trujillo y Boconó, estado Trujillo, con fines de microzonificación sísmica. X CONVESIS, Cumaná, 11p.

Medina, P., Paolini, M., Sánchez Rojas, J., Schmitz, M. (2016.) Modelado preliminar 2D del subsuelo del Área Metropolitana Norte del Estado Anzoátegui, a través de datos de refracción sísmica. VII Col. Microzon. Sís., Mérida, 4p.

Mendes, M. (2004). Caracterización geofísica del subsuelo de la zona oeste de Barcelona, estado Anzoátegui, aplicando métodos sísmicos y gravimétricos. TEG, UCV.

Mijares, M.M., Schmitz, M., Sánchez-Rojas, J., Rondón, F. (2021). Estudio del parámetro Vs30 mediante el análisis multicanal de ondas superficiales en la ciudad de Valencia. XVI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 2p.

Molina C. (2017). Penalización de la construcción social del riesgo de desastre en países Andinos. TEG-Msc, Gestión de Riesgos Socionaturales, ULA, 199p.

Molina, D., Paolini, M., Moncada, J.A., Amarís, E., Reinoza, C., Quinteros, C., Pacheco, D. (2008). Estudio de amenaza sísmica del puerto de Carúpano y sus zonas aledañas, Estado Sucre. Contrato Nº 4600005279 (PDVSA – FUNVISIS), Informe Técnico, FUN – 075, 2007, 73p.

Molina, L., Rocabado, V., Schmitz, M. (2015). Caracterización sísmica del suelo aplicando el método de relación espectral H/V en las ciudades de San Antonio del Táchira y Ureña, estado Táchira. X CONVESIS, Cumaná, 8p.

Molina, Z. (2016). Caracterización sísmica del suelo aplicando el método Nakamura en las ciudades Lobatera y Michelena Estado Táchira. TEG-Msc, Geofísica Aplicada, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría – CUAJE.

Morales, C. (2006). Elaboración de un mapa de velocidades de ondas de corte hasta los 30m de profundidad mediante refracción sísmica y datos geotécnicos. TEG, UCV, 118p.

Morales, C., Hernández, J.J., Schmitz, M., Cano, V., Tagliaferro, M. (2011). Velocidades promedias de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad (Vs30), inferidos a partir del relieve en el Área Metropolitana de Caracas. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 161–168.

Morales, C., Schmitz, M., Pullammanappallil, S. (2015). Calibración del modelo geológico-geofísico del subsuelo de Barquisimeto y Cabudare a través de métodos sísmicos y la respuesta espectral en superficie. Bol. Geol., 37 (1), 57-66.

Morejón, G., López, O.A., Berenguer, Y., Leyva, K., Villalón, M., Rengel, J.G., González, O., Álvarez, L., Schmitz, M. (2014). Evaluación del riesgo sísmico del fondo habitacional de las ciudades Guarenas y Guatire. Rev. Fac. Ing. UCV, 29(3), 37-50.

Morfe, J., Schmitz, M., Alvarado, L., Álvarez, L., Zapata, J., Rendón, H. (2015). Simulación del campo de ondas sísmicas y caracterización de amplitud y período con fines de microzonificación sísmica para las ciudades Guarenas-Guatire. Bol. Geol., 37 (1), 27-43.

Murphy V, Linehan D, Turcotte T. (1969). Seismic investigations, Valley of Caracas and the Litoral Central. Weston, Massachusetts (under Planning and Supervision of the Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo): Weston Geophysical Engineers International, Inc.; 1969; p. 1–22.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of surface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, 30 (1).

Olivier M. (2009). Evaluation of the liquefaction potential of the city of Cumaná, Venezuela. Internship Report. CEDI-FUNVISIS.

OPS (1995). Evaluación sismorresistente del hospital Dr. Antonio Patricio de Alcalá, Cumaná, Estado Sucre. Organización Panamericana de Salud, Caracas, volumen 1, 132p.

Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes del Municipio Iribarren (2018). Gaceta Municipal Extraordinaria del Municipio Iribarren, Estado Lara Nº 4512 del 16 de mayo de 2018.

Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital (2018). Gaceta Municipal del Municipio Bolivariano Libertador Nº 4331-2 del 10 de julio de 2018.

Ordenanza de Microzonificación Sísmica del Municipio Palavecino (2018). Gaceta Municipal del Municipio Palavecino, Estado Lara Nº 9285 del 13 de julio de 2018.

Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio El Hatillo del Estado Bolivariano de Miranda (2021). Gaceta Municipal del Municipio El Hatillo Nº 119/2021 del 31 de mayo de 2021.

Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Sucre del Estado Miranda (2021). Gaceta Municipal Extraordinario del Municipio Sucre Nº 415-A del 25 de noviembre de 2021.

Ordenanza para Edificaciones Sismorresistentes en el Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital (2024). Gaceta Municipal del Municipio Bolivariano Libertador Nº 5062-A del 17 de mayo de 2024.

Ornelas A. (2018). Inversión 1D de la onda Rayleigh de datos de ruido ambiental en la ciudad de Maracay. TEG, USB, 123p.

Oropeza, J. (2011). Resultados preliminares de la perforación profunda realizada en la ciudad de Cumaná, estado Sucre, para ulterior instalación de observatorios acelerográficos. FUN-058,2011. CEDI-FUNVISIS. 6p.

Oropeza, J. (2012). Estudio de amenazas naturales en la cuenca de Carora, edo. Lara, con fines de microzonificación sísmica. Informe Interno FUN-067/2012, FUNVISIS. 68p. + 5 anexos.

Pacheco, D. (2008). Estudio geofísico integrado de la ciudad de Carúpano, Edo. Sucre aplicando método gravimétrico y ruido sísmico ambiental. TEG, UCV, 138p.

Padrón, C., Mendes, K., Schmitz, M., Hernández, J.J. (2011). La Microzonificación Sísmica en el Proceso de Planificación Urbana del Municipio Chacao. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 89–101.

Padrón, M.F. (2012). Caracterización geofísica del subsuelo somero mediante ReMI en el Área Metropolitana del Norte de Anzoátegui. TEG, USB, 76p.

Paolini, M. (2006). Análisis de los períodos fundamentales del suelo en la ciudad de Carora, Municipio Torres, estado Lara. TEG, USB, 97p.

Paolini, M., Schmitz, M. (2014). Caracterización de sitio a partir de mediciones de ruido ambiental en la Región Norte Metropolitana del Estado Anzoátegui. VI Col. Microzon. Sís., Valencia, 4p.

Paolini, M., Pacheco, D., Rocabado, V., Moncada, J., Reinoza, C., Amarís, E., Schmitz, M. (2009). Estudio geofísico integrado en la ciudad de Carúpano, estado Sucre. V Col. Microzon. Sís., Caracas, 4p.

Paolini, M., Rodríguez, L.M., Olbrich, F. (2012). Actualización de las fallas activas de Venezuela como aporte a la evaluación de la amenaza sísmica. FUN-077; 2012, FUNVISIS, Caracas.

Papageorgiou AS, Kim J. (1991). Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. Bull. Seismol. Soc. Am.;81, 2214–33.

Parra, J., Morales, C., Schmitz, M., Cerrada, M., Linares, M., Sánchez Rojas, J. (2016). Analogía entre valores de Vs30 calculados para ciudades venezolanas a partir del relieve y refracción por microtremores. VII Col. Microzon. Sís., Mérida, 4p.

Pastor, P (2014). Caracterización de los sedimentos someros y profundos en Valle de la Pascua, Estado Guárico, Aplicando el Método ReMi. TEG, USB.

Pérez, O.J.P., Wesnousky, S.G., De La Rosa, R., Márquez, J., Uzcátegui, R., Quintero, C., Liberal, L., Mora-Páez, H., Szeliga, W. (2018). On the interaction of the North Andes plate with the Caribbean and South American plates in northwestern South America from GPS geodesy and seismic data. Geophys. J. Int., doi: 10.1093/gji/ggy230.

Pombo A. (2018). Riesgo sísmico en el Área Metropolitana de Valencia. Tesis doctoral, U. Carabobo, Valencia, 271p.

Ramírez, N. (2014). Aplicación de una metodología para zonificar susceptibilidad ante movimientos de masa. Ciudad de Mérida y sus alrededores. TEG-Msc, ULA.

Ramírez-Lisboa, P., Guillén, B., Sánchez-Rojas, J., Schmitz, M. (2015). Modelado gravimétrico 3D del basamento del Área Metropolitana del Norte del estado Anzoátegui, Venezuela. Rev. Fac. Ing. UCV, 30 (4), 35-48.

Reglamento de la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística (1991). Decreto 833, Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 34.678 del 19 de marzo de 1991.

Reinoza, C., Sánchez, J., Schmitz, M., Klarica, S. (2006). Modelado geofísico del basamento del área Metropolitana de la ciudad de Mérida, Venezuela. Rev. Fac. Ing. UCV, 21(4), 71-80.

Reinoza, C., Morales, C., Rocabado, V., García, K., Sánchez, C., Abreu, R., Schmitz, M. (2011). Espesores de sedimentos a partir de la integración de datos geofísicos en Barquisimeto y Cabudare, Venezuela. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 67–76.

Rendón, H., Alvarado, L., Vásquez, R., Romero G. (2014). Depuración y actualización del catálogo sísmico instrumental de Venezuela, BASEVEN, como producto previo al catálogo necesario en los estudios de la amenaza sísmica. FUN-056,2014, FUNVISIS, Caracas, 38p.

Rocabado, V., Schmitz, M., Rendón, H., Vilotte, J.-P., Audemard, F., Sobiesiak, M., Ampuero, J.-P., Alvarado, L. (2006). Modelado numérico de la respuesta sísmica 2D del valle de Caracas. Rev. Fac. Ing. UCV, 21(4), 81-93.

Rocabado, V., Schmitz, M., Sánchez, J., Reinoza, C. (2007). Geophysical studies in Barquisimeto metropolitan area, Venezuela, as contribution to a seismic microzoning Study: 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Paper No. 1425.

Rocabado, V., Aray, J., Morales, C., García, K., Schmitz, M., Sánchez, C., Heredia, J., Pombo, A., Rojas, C., Meza, J. (2011). Determinación del espesor de sedimentos para las ciudades de Maracay y Valencia a partir de mediciones de ruido ambiental y sísmica de refracción como aporte a los estudios de microzonificación. JIFI-UCV, 2p.

Rocabado, V., Schmitz, M., Cerrada, M. (2015). Determinación de las funciones de transferencia para la ciudad de Mérida a partir de registros acelerográficos de pozo. X CONVESIS, Cumaná, 5p.

Rodríguez, A.R. (2013). Caracterización geofísica del subsuelo profundo mediante la técnica ReMi en el Área Metropolitana del Norte del Estado Anzoátegui. TEG, USB, 67p.

Rodríguez, A., Sánchez, A. (2016). Determinación de los periodos fundamentales del subsuelo a través de mediciones de ruido sísmico ambiental en San Juan de Lagunillas, Edo. Mérida con fines de microzonificación sísmica. TEG, Ingeniero Geólogo, ULA.

Rodríguez, L., Singer, A. (2016). 4.4 Evaluación de Geoamenazas en Barquisimeto-Cabudare. En: Schmitz, M., Morales, C. (Editores). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 82-98.

Rodríguez, L., Singer, A., Rocabado, V. (2005). Evidencias geomorfológicas de fenómenos de sufosión-tubificación-colapso en el tope de la terraza pleistocena de Barquisimeto. IV Col. Microzon. Sís., Barquisimeto, Serie Técnica FUNVISIS No. 1, 2005, p. 235-239.

Rojas, C. (2008). Determinación de los períodos fundamentales del suelo de la ciudad de Maracay, Edo. Aragua. TEG, UCV, 123p.

Rojas, M. (2015). Determinación de los periodos fundamentales de los suelos en la localidad de Lagunillas Estado Mérida, a partir de mediciones de ruido sísmico

ambiental, con fines de microzonificación sísmica. TEG, ULA.

Rojas, R., Delgado, J., Domínguez, J., Hernández, J.J. (2016). 5.2 Distribución de edificaciones. En: Schmitz, M., Morales, C. (Editores). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 120-129.

Román W. (2011). Caracterización geofísica del subsuelo mediante estudios sísmicos con fines de microzonificación en la ciudad de Cumaná, estado Sucre. TEG. UCV.

Romero, G. (2017). Elaboración de un modelo gravimétrico en 3D del basamento en la ciudad de Maracay. TEG, USB, 68p.

Romero, M., Cragno, A., Ambrosio, R., Schmitz, M. y González, J. (2006). Evaluación geofísica de los conos aluviales en Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, edo. Vargas. Boletín del IMME, Vol. 44 (1), 16-29.

Sánchez J.A. (2015). Caracterización de la cuenca de Guarenas-Guatire, estado Miranda, mediante perfiles de refracción sísmica. TEG, UCV, 57p.

Sánchez, J., Schmitz, M. y Cano, V. (2005a). Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas. Boletín Técnico del IMME, 43(2), 49-67.

Sánchez, J., Hecht, J., Amarís, E., Rodríguez, S., Schmitz, M. (2005b). Estudio geofísico de la cuenca de Guarenas-Guatire y la zona este de expansión de la ciudad de Caracas (Municipios Sucre y Plaza, Distrito Capital). IV Col. Microzon. Sís., Barquisimeto, Serie Técnica FUNVISIS No. 1, 254-259.

Sánchez-Rojas, J., Prieto, A., Mazuera, F., Schmitz, M. (2016). Análisis y modelado 3D del subsuelo a partir de integración de información geológica y gravimétrica con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Valera, estado Trujillo. JIFI-UCV, 8p.

Schmitz, M., Singer, A. (Editores) (2015). Microzonificación sísmica de Caracas. FUNVISIS, 171p.

Schmitz, M., Morales, C. (Editores). 2016. Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, 161p.

Schmitz, M., Alvarado, L., González, J., Audemard, F. (1999). Informe final proyecto INTEVEP 98-437 Estudio de Neotectónica, Geología de Fallas Activas y Refracción Sísmica Superficial en el Área de Expansión Oeste de Barcelona. FUNVISIS, Informe inédito, Volumen 1, 24p.

Schmitz, M., Romero, M., Bonive, F., Audemard, F., González, J. (2006). Resultados de mediciones sísmicas e implicaciones de dinámica de suelo en torno al hospital Dr. Antonio Patricio de Alcalá, Cumaná, Estado Sucre. Boletín del IMME, 44(1), 30-50.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C. y 49 co-autores (2009a). Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007, Inédito, 978p.

Schmitz, M., Hernández, J.J., García, K. y 43 co-autores (2009b). Informe Técnico Final, Volumen 2 Barquisimeto, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035b, 2007, Inédito, 432p.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C. y 10 co-autores y el grupo de trabajo del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas (2011). Principales resultados y recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica en Caracas. Rev. Fac. Ing. UCV, 26 (2), 113–127.

Schmitz, M., Álvarez, L., Morejón, G. y 32 co-autores (2012). Mirozonificación sísmica para la planificación urbana y la gestión local de riesgo de las ciudades en los ejes de desarrollo: caso piloto Garenas y Gatire - continuación del proyecto anterior y estudios comparativos en Santiago de Cuba - Informe técnico final. FUN 04-2012, 414p.

Schmitz, M., Cano, V., López, O.A., Klarica, S., Pombo, A., Díaz, J.F., Heredia, J., Avendaño, J., Morales, C. y el grupo de riesgo sísmico del proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos (2015). Estudios geofísicos en cuencas urbanas en Venezuela con fines de microzonificación sísmica. Bol. Geol., 37 (1), 17-26.

Schmitz, M., Fuenmayor, R., Morales, C. y 9 co-autores (2017). Proyecto de ordenanza para edificaciones sismorresistentes del municipio Iribarren, estado Lara. XI CONVESIS, Caracas, CONV-110, 14p.

Schmitz, M., Sánchez, J., Rocabado, V. y 17 co-autores (2019). Espesores sedimentarios de cuencas urbanas como aporte a los estudios de microzonificación sísmica en Venezuela. Geominas, 47(79), 81-98.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Rocabado, V. y 9 co-autores and the Caracas Seismic Microzoning Project Working Group (2020a). The Caracas, Venezuela, seismic microzoning project: methodology, results and implementation for seismic risk reduction. Progress in Disaster Science 5, doi: 10.1016/j.pdisas.2019.100060.

Schmitz, M., Morales, C., Hernández, J.J. y 10 co-autores y el grupo de trabajo de microzonificación sísmica Barquisimeto-Cabudare (2020b). Resultados e implementación de la Microzonificación Sísmica de Barquisimeto y Cabudare. Geominas, 48(81), 3-14.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Rondón, F. y 15 co-autores y el grupo de Microzonificación Sísmica (2023a). Estudios de Microzonificación Sísmica en Venezuela. En: Rodríguez, L.M. & equipo de apoyo técnico, Atlas Sismológico de Venezuela, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, ISBN: 978980 8017045, Parte 3 Geofísica, p. 92-97.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Zerpa, S. (2023b). Microzonificación Sísmica de Carora, Municipio Torres, estado Lara. Informe Interno FUN-008/2023, FUNVISIS, 52p. + 1 Apéndice.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Rocabado, V. y 9 co-autores y el Grupo de Trabajo del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas (2023c). Estudio de microzonificación sísmica de Caracas. En: Rodríguez, L.M. & equipo de apoyo técnico, Atlas Sismológico de Venezuela, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, ISBN: 978980 8017045, Parte 3 Geofísica, p. 98-103.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Günther, A., Buchert, W., Alam, M.F. (2025). Recommendations on implementing results of seismic microzonation in Bangladesh – experiences from South America. The 15th Asian Regional Conference (ARC-15) of IAEG, Kathmandu, Asian J. Eng. Geol., 2 Special Issue,

ARC-15 of IAEG, Abstract No. 147. DOI: https://doi.org/10.64862/ajeg.2025.2sp.42.147.

Schnabel, P., Lysmer, J., Seed, H. (1972). SHAKE - A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-72/12. University of California, Berkeley.

Seed H.B., Alonso J.L. (1973). Soil-structure Interaction effects in the Caracas Earthquake of 1967. Fifth World Conference in Earthquake Engineering, Rome.

Seed. H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J Soil Mechan Found Div, 1249–1273.

Seed, H.B., Idriss, I.M., Dezfulian, H. (1970). Relaciones entre las condiciones del suelo y el daño a edificios durante el sismo de Caracas del 29 de Julio de 1967. Estudio realizado para la Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo. Report EERC 70-2. University of California, Berkeley, 38p.

Silva, P., Andrades, L., Schmitz, M., Rondón, F., Andrades-Grassi, J., Hernández, J.J. (2023). Determinación de microzonas sísmicas preliminares en El Tocuyo, municipio Morán, estado Lara, basado en la evaluación de Vs30 y espesores sedimentarios. II Congr. Ven. Geociencias, Caracas, 2p.

Singer, A., Zambrano, A., Oropeza, J., Tagliaferro, M. (2007). Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25.000. IX Congreso Geológico Venezolano, Caracas.

Singer, A., Rodríguez, L., Noda, F. Schmitz, M. Rocabado, V. (2008). Fuentes de geoamenazas a lo largo de la ruta y para las obras del tren Caracas-Guarenas-Guatire y estudios geofísicos (sísmica de refracción en Guarenas y Guatire). Segundo informe de avance, en el estudio de amenaza sísmica, procesos geomorfológicos activos y estimación de los efectos de sitio para el proyecto del tren Caracas – Guarenas – Guatire. (Informe interno FUNVISIS), 34p.

Singer, A., Nevado, F., Gómez, A., Rodríguez, L. (2014). Evidencias de actividad tectónica reciente en la falla de Las Trincheras. VI Col. Microzon. Sís., Valencia, 6p.

Singer, A., Zambrano, A., Oropeza, J., Tagliaferro, M. (2023). Mapa de unidades geológicas cuaternarias del valle de Caracas. En: Rodríguez, L.M. & equipo de apoyo técnico, Atlas Sismológico de Venezuela, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, ISBN: 978980 8017045, Parte 3 Geofísica, p. 104-1093.

Stephan, J. (1985). Carte Geologique de la Tranversale de Barquisimeto. Entre la faille de Boconó et le neautochtone du Falcón (Etats de Lara, Trujillo et Falcón: Venezuela). Andes et chaîne Caraïbe sur la Tranversale de Barquisimeto (Vénézuéla): évolution géodynamique. Symposium géodynamique des Caraïbes. París, Francia, p. 505-529.

Timaure, N., Rodríguez, L., Hernández J.J. (2016) 4.5 Caracterización de laderas. En: Schmitz, M., Morales, C. (Editores). Microzonificación sísmica del Área Metropolitana Barquisimeto-Cabudare, FUNVISIS, p. 98-104.

Urbani, F., Rodríguez, J. (2004). Atlas geológico de la Cordillera de la Costa de Venezuela. Ediciones Fundación GEOS, escala 1:25000, 146p.

Valls., J. (2008). Caracterización geofísica en la zona de Quíbor, estado Lara, mediante estudios gravimétricos y de ruido sísmico ambiental. TEG, UCV, 151p.

Van der Hilst, R., Mann, P. (1994). Tectonic implications of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. Geology 22(5), DOI: 10.1130/0091-7613.

Vernaéz, G., Cano, V., Schmitz, M. y 53 co-autores (2011). Informe Técnico de Avance correspondiente al Segundo Año del Proyecto de investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos (FONACIT 2007000939). FUN 012-2011, 229p.

Viete H. (2012). Evaluación geológica con fines de Microzonificación Sísmica de la región de Cumaná, edo. Sucre. Informe Técnico. CEDI-FUNVISIS. Caracas.

Wurst, M. (2010). Neotectonic cartography of the eastern flank and geophysical modeling of the sediment thickness in the depression of Quibor, state of Lara, Venezuela. Diploma tesis, Technische Universität Berlin, 101p.

Yamazaki, Y., Audemard, F., Altez, R., Hernández, J., Orihuela, N., Safina, S., Schmitz, M., Tanaka, I., Kagawa H., and JICA Study Team -Earthquake Disaster Group (2005). Estimation of the seismic intensity in Caracas during the 1812 earthquake using seismic microzonation methodology. Rev. Geogr. Ven., Número Especial 2005, 199-216.

Yegres, L., Schmitz, M., Cerrada, M., Rojas, R. (2020). Evaluación del efecto de amplificación sísmica, a partir de la integración de métodos geofísicos y el análisis lineal 1D del suelo en Mérida – Venezuela. CIVGEO, Perú, 3p.

Zerpa, S. (2019). Inversión de curvas de elipticidad de ondas Rayleigh para la caracterización de la ciudad de Carora. TEG, USB, 100p.

Zinck, A. (1980). Valles de Venezuela. Caracas: Cuadernos LAGOVEN, p. 1–154.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/174
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 184 – 203

LOS TERREMOTOS DEL 24 DE JUNIO DE 2026 EN VENEZUELA: ESTRUCTURAS LITOSFÉRICAS EN EL NORTE DE SUDAMÉRICA, COMPORTAMIENTO DE LAS RÉPLICAS Y LA IMPORTANCIA DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA GUAIRA

Michael SCHMITZ [1,2], Leonardo ALVARADO [1, 3], Rommel CONTRERAS [4],
Luis Manuel HERNÁNDEZ-RAMOS [1], Antoine MOCQUET [5]

RESUMEN

La zona central de Venezuela fue afectada el día 24 de junio de 2026 por dos terremotos, el primero, de magnitud Mw 7,2, se inició en el enlace entre los sistemas de Boconó–Morón y San Sebastián, y el segundo, con apenas 32 segundos de diferencia, de magnitud Mw 7,5 sobre la falla San Sebastián frente al estado La Guaira donde se ubicaron los efectos más devastadores con miles de edificios afectados, de los cuales unos 200 colapsaron. La zona se caracteriza por la interacción de las placas del Caribe y de Sudamérica con los sistemas de fallas de Boconó (en Los Andes) y San Sebastián (en la costa central del país) con estructuras corticales que van desde una corteza oceánica engrosada de unos 25 km de espesor hasta una corteza continental de unos 35 a 40 km de espesor al sur del sistema de falla San Sebastián. En los primeros 2 meses se registraron más de 1700 réplicas que muestran una separación de dos regímenes, una concentración en el oeste y dos acumulaciones principales en el este con una zona sin réplicas en el medio (al oeste de la falla San Sebastián), que coincide con una sombra de esfuerzo de Coulomb proyectada por las dos rupturas. Los mayores daños de los terremotos de junio de 2026, asociados al campo cercano del evento Mw = 7,5 y a un pulso de directividad del evento Mw = 7,2, se localizan sobre todo en el cono aluvial de Caraballeda, así como en Catia La Mar amplificados por efectos de sitio. En Caracas, se ubicaron en las cuencas de más de 120 m de espesor de San Bernardino y Los Palos Grandes. Sin embargo, hubo colapso también en zonas de menor espesor sedimentario como en El Paraíso, por lo cual sería conveniente actualizar el estudio de microzonificación sísmica de Caracas. Para guiar la reconstrucción del estado La Guaira debe realizarse un estudio de microzonificación sísmica que permita, además, analizar los daños ocurridos.

ABSTRACT

The June 24, 2026, earthquakes in Venezuela: lithospheric structures in northern South America, aftershock behavior, and the importance of seismic microzonation for the reconstruction of La Guaira

On June 24, 2026, central Venezuela was struck by two earthquakes: the first, with a magnitude of Mw 7.2, originated at the junction of the Boconó–Morón and San Sebastián fault systems; the second, occurring just 32 seconds later with a magnitude of Mw 7.5, struck along the San Sebastián fault off the coast of La Guaira state. This area suffered the most devastating effects, with thousands of buildings damaged and approximately 200 collapsing. The region is characterized by the interaction of the Caribbean and South American plates with the Boconó (in the Andes) and San Sebastián (on the central coast) fault systems, involving crustal structures that range from thickened oceanic crust -about 25 km thick - to continental crust - 35 to 40 km thick - south of the San Sebastián fault system. Over the first two months, more than 1,700 aftershocks were recorded, revealing a distinct separation between two regimes: a concentration in the west and two main clusters in the east, with an aftershock-free zone in between (western part of the San Sebastián fault) that coincides with a Coulomb stress shadow cast by the two ruptures. The most severe damage from the June 2026 earthquakes - linked to the near-field effects of the Mw 7.5 event and a directivity pulse from the Mw 7.2 event - was concentrated on the Caraballeda alluvial fan and in Catia La Mar, where ground motion was amplified by site effects. In Caracas, damage was concentrated in the San Bernardino and Los Palos Grandes basins, where sediment thickness exceeds 120 meters. However, collapses also occurred in areas with thinner sedimentary deposits, such as El Paraíso; consequently, updating the seismic microzonation study for Caracas would be advisable. To guide the reconstruction of La Guaira State, a seismic microzonation study must be conducted that also allows for the analysis of the damage sustained.

[1] Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas, Venezuela.
[2] Universidad Simón Bolívar (USB), Caracas, Venezuela.
[3] Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Caracas, Venezuela.
[4] Academia de GeoHistoria del Estado Sucre (AGHES), Cumaná, Venezuela.
[5] UARO 3281, OSUNA, Nantes Université, Francia.
E-mails: MS: schmitzschutt@gmail.com; LA: joleonar@gmail.com; RC: rommeljose@gmail.com; LMH: luisma72@gmail.com; AM: antoine.mocquet@univ-nantes.fr

Palabras clave: Terremotos del 24 de junio 2026; estructuras litosféricas; réplicas; microzonificación sísmica; estado La Guaira
Keywords: Earthquakes of June 24, 2026; lithospheric structures; aftershocks; seismic microzonation; La Guaira State.

Introducción

Venezuela está ubicada en la interacción de las placas tectónicas del Caribe y de Suramérica con un movimiento relativo casi constante por al menos 55 Ma (Dewey y Pindell, 1985) que ha generado una amplia zona de regímenes tectónicos de transcurrencia, compresión y extensión (e.g. Audemard et al. 2000; Figura 1). El margen sur de la Placa del Caribe ha sido considerado por mucho tiempo como una zona angosta de transcurrencia pura (e.g. Molnar y Sykes, 1969). Sin embargo, trabajos más recientes reconocen la subducción de la placa oceánica del Caribe en el occidente de Venezuela debajo del continente suramericano (van der Hilst y Mann, 1994) y el movimiento del Bloque Norandino desde Guayaquil (Ecuador) hacia el noreste (Pérez et al., 2018; Figura 1).

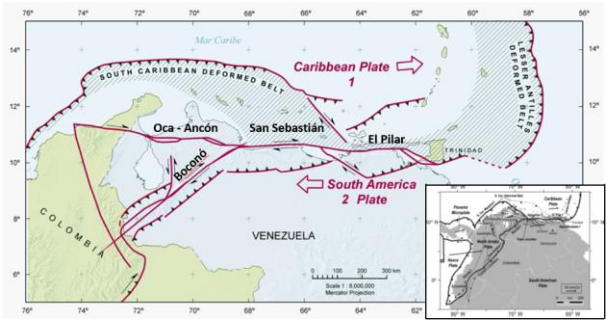


Figura 1. Esquema tectónico de la interacción de las placas del Caribe y Sudamérica con los respectivos sistemas de fallas transcurrentes; modificado de Audemard et al. (2000). En la esquina derecha se agrega la visión de Pérez et al. (2018) del movimiento del Bloque Norandino (North Andes Plate) hacia el noreste con el desarrollo de la falla de Morrocoy, capaz de generar un punto triple con las fallas Boconó y San Sebastián.

El 24 de junio de 2026 el centro-norte de Venezuela fue afectado por dos terremotos de magnitud 7,2 y 7,5. El primero se inició en el oeste, en el enlace entre los sistemas de fallas Boconó–Morón y San Sebastián, y unos 32 s después se inició el segundo, unos 150 km más al este, sobre la falla San Sebastián frente al estado La Guaira (Figura 2). En conjunto, ambas rupturas afectaron un tramo de unos 200–250 km del límite de placas. El modelo de falla finita del USGS lo representa como una traza continua de ~243 km, pero esa longitud es la envolvente de dos rupturas sucesivas, separadas por un segmento intermedio de ~80 km sin liberación de momento apreciable y con muy pocas réplicas (Contreras et al., 2026a). La mayor liberación de energía se produjo en el segmento oriental, frente a La Guaira. Los efectos más devastadores se ubicaron en Morón y Puerto Cabello (intensidad 9 y 8, respectivamente), en el estado de La Guaira (intensidad 9) y en Caracas (intensidad 7-8; Figura 2).

Tanto en el estado La Guaira como en Caracas se vieron amplificados los daños por la presencia de importantes espesores de sedimentos que generaron efectos de sitio. En este trabajo analizamos las estructuras litosféricas en la zona afectada por los terremotos, así como el comportamiento de las réplicas, caracterizando el comportamiento estadístico de la secuencia de réplicas durante los primeros 77 días para evaluar el estado tensional de la corteza, la completitud del catálogo de la red sismológica y el patrón de relajación de esfuerzos con un análisis de una posible zona de transferencia estática de esfuerzo de Coulomb entre las dos rupturas. Se detallan los estudios del subsuelo y de microzonificación sísmica realizados en el estado La Guaira y en Caracas y se discuten las implicaciones para el desarrollo del estudio de microzonificación sísmica de La Guaira para evaluar los efectos inducidos (sobre todo licuación del suelo) y los efectos de sitio (topografía, espesores de sedimentos) a ser tomados en cuenta en la reconstrucción del estado La Guaira.

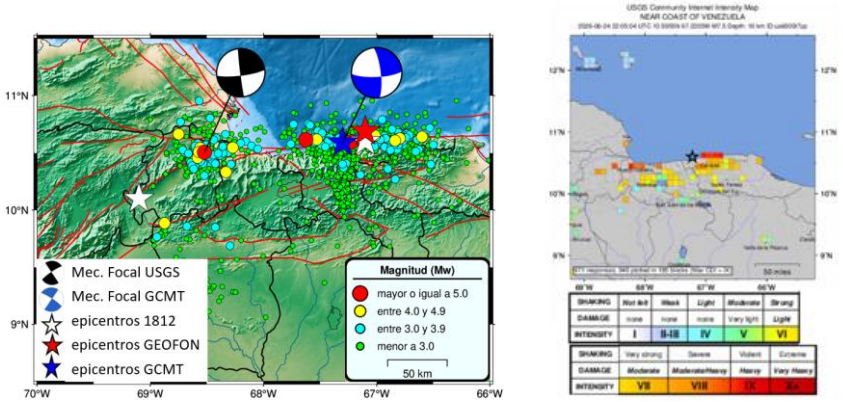


Figura 2. Resumen sismológico de los eventos ocurridos en junio de 2026 en la zona nor-central de Venezuela (izquierda, Alvarado, 2026) y principales afectaciones generadas según el mapa de intensidades comunitarias del Servicio Geológico de Estados Unidos (derecha, USGS, 2026).

Estructura litosférica en el centro-norte de Venezuela

La estructura de la corteza de las placas del Caribe y de Sudamérica en la zona de los terremotos del 24 de junio de 2026 en el centro-norte de Venezuela ha sido investigada a lo largo de la longitud 67°O (el perfil pasa por La Victoria) en el marco de los proyectos BOLIVAR y GEODINOS en el año 2004, así como previamente ECCAR (Caracas, 2001) y Mar y Tierra (2001/2002, con registros en las estaciones TURV y BIRV) (Figura 3).

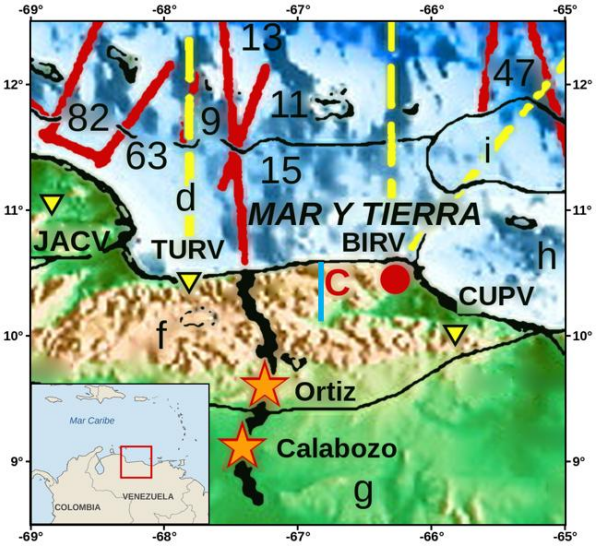


Figura 3. Mapa de ubicación con las líneas de cañones de aire (líneas rojas con números de línea), estaciones de la Red Sismológica Venezolana (triángulos invertidos con códigos de estación) y disparos terrestres (estrellas con el nombre del punto de disparo) con sus respectivas líneas de registro (en negro) de los proyectos BOLIVAR y GEODINOS. La zona afectada por los terremotos del 24 de junio de 2026 se ubica dentro de la unidad tectónica de los mantos del Caribe y del cinturón de cabalgamientos de la Cordillera de la Costa (f) según Stephan (1985). Perfiles sísmicos obtenidos durante experimentos previos indicados con líneas amarillas (Mar y Tierra; Guédez et al., 2003) y celestes (ECCAR; Sánchez et al., 2005) y círculo rojo (estación sismológica Birongo); C = Caracas; modificado de Schmitz et al. (2008).

La información de mayor detalle en la zona afectada por los terremotos del 24 de junio de 2026 se encuentra en el perfil N-S a lo largo de la longitud 67°O con un perfil de reflexión profunda en la parte marina con equipos en el fondo del mar y equipos densos en tierra con los disparos en tierra Ortiz y Calabozo (Schmitz et al., 2008; Magnani et al., 2009). La mayor parte de la placa del Caribe está compuesta por la gruesa corteza de la Gran Provincia Ígnea del Caribe (CLIP) de unos 25 km de espesor, solamente el extremo norte del perfil 67°O en la Cuenca de Venezuela parece corresponder a corteza oceánica normal de espesor cortical de 6 a 7 km (Magnani et al., 2009). En la parte continental se desarrollaron 2 modelos de trazado de rayos diferentes, un primer modelo con un límite corteza-manto (Moho) relativamente plano con espesores entre 34 y 37 km en la zona cubierta por las reflexiones (Figura 4, arriba) y un segundo modelo, en el cual se interpretan reflexiones de un reflector intracortical con un Moho unos 15 km más abajo (Figura 4 abajo).

Los respectivos modelos corticales varían considerablemente, con un Moho relativamente plano con un espesor de 35 km en la zona de la costa propuesto por Schmitz et al. (2008) (Figura 5, arriba); la velocidad promedio de la corteza en la costa es de 6,2 km/s. Magnani et al. (2009) proponen un aumento fuerte del espesor cortical de 25 a más de 40 km en la zona de la costa (Figura 5, abajo). Las combinaciones de altas y bajas velocidades en la corteza en la zona de la falla San Sebastián y en la cuenca de Los Roques (círculos rojos) son consideradas artefactos por falta de cobertura de rayos.

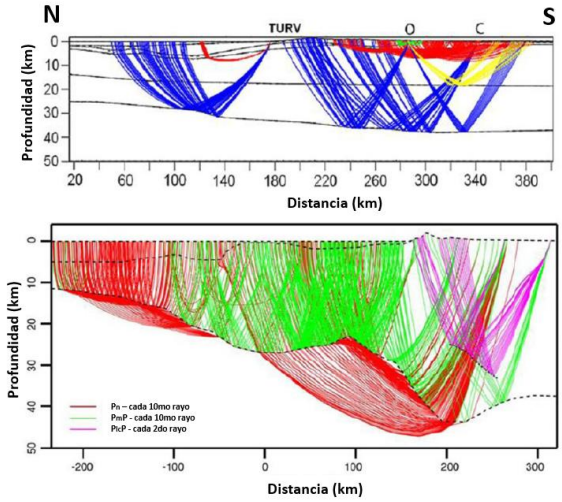


Figura 4. Trazado de rayos a lo largo del perfil 67°O presentado por Schmitz et al. (2008), arriba, y Magnani et al. (2009), abajo. El modelo de Schmitz et al. (2008) considera un Moho relativamente plano, mientras el modelo de Magnani et al. (2009) propone a un reflector flotante en la corteza inferior y el Moho a mayor profundidad; TURV corresponde a la línea de costa, O y C marcan los disparos Ortiz y Calabozo, respectivamente; modificado de Schmitz et al. (2014).

Un resumen de las profundidades del Moho en la zona es presentado en la Figura 6, junto con el espesor obtenido en la estación sismológica Turiamo (TURV) por el análisis de funciones receptoras (Niu et al., 2007) proyectado de 50 km al oeste al perfil. Posiblemente, este último valor corresponda al espesor cortical de la placa del Caribe al norte. Hay un aumento del espesor de 25 km desde la costa (posición de la falla San Sebastián a unos 40 km de espesor (100 km al sur de la costa), interpretado de manera gradual (Schmitz et al., 2008) o con una profundización producto de una interpretación alternativa de las reflexiones del Moho (Magnani et al., 2009; Figura 4, abajo).

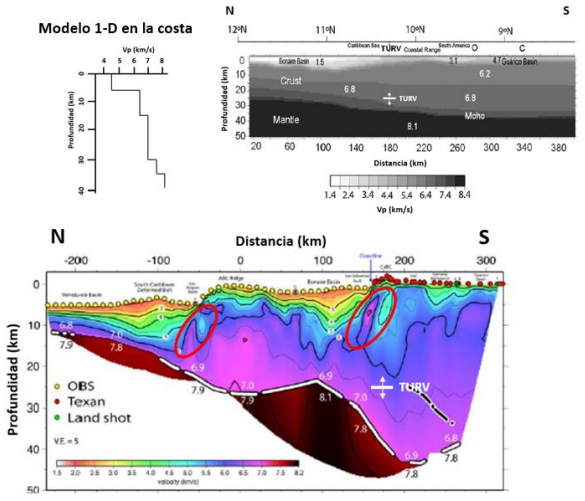


Figura 5. Modelos de velocidades de ondas P a lo largo del perfil 67° O de Schmitz et al. (2008), arriba, y Magnani et al. (2009), abajo (exageración vertical 5:1). TURV = estación sismológica de Turiamo, O = punto de disparo de Ortiz, C = punto de disparo de Calabozo (modificado de Schmitz et al., 2008; profundidad de la función receptora con incertidumbre de TURV, proyectado de 50 km al oeste al perfil, de Niu et al., 2007). Arriba a la izquierda se presenta el modelo 1-D de ondas P en la costa (basado en Schmitz et al., 2008). Zonas de altas y bajas velocidades alternantes en el modelo tomográfico de Magnani et al. (2009) se indican con círculos rojos.

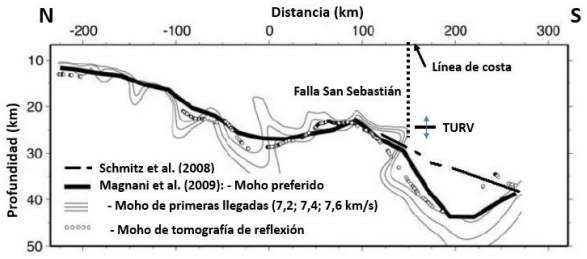


Figura 6. Comparaciones del Moho a lo largo del perfil 67°O. Moho propuesto por Magnani et al. (2009) utilizando el método de tomografía de reflexión de las fases PmP (puntos de reflexión como círculos), las primeras llegadas (líneas grises) y Moho preferido (línea negra gruesa). Se compara con el Moho propuesto por Schmitz et al. (2008) (línea negra más delgada), dibujado donde difiera el modelo; modificado de Schmitz et al. (2014; 2021).

Unos 100 km hacia el este, en la parte oriental de la Cordillera de la Costa (Figura 3), se realizaron registros de disparos de cañones de aire en la estación BIRV (Guédez et al., 2003). Se obtuvo una variación fuerte del espesor de la corteza de 40 km (en la costa, confirmado por los resultados de funciones receptoras) a 25 km (unos 80 km hacia el norte) (Figura 7), que coincide con los resultados obtenidos en estudios anteriores (e.g. Bosch y Rodríguez, 1992) y con espesores ligeramente menores que los valores máximos de profundidad cortical (42 km debajo de la Cordillera de la Costa), propuestos por Orihuela y Ruiz (1990).

Masy et al. (2015) reportan un espesor de la litosfera de unos 60 km en la costa del perfil 67°O basado en una tomografía de ondas Rayleigh y funciones receptoras Ps y Sp (Figura 8). Levander et al. (2014) interpretan esta disminución del espesor litosférico como resultado de la subducción de la placa oceánica del Atlántico (ATL) en interacción con el borde septentrional del margen continental sudamericano desde el Paleoceno tardío. La zona de subducción de las Antillas se ha desplazado de oeste a este a través del norte de Sudamérica, dejando una placa ATL de fuerte buzamiento cerca del extremo sureste de dicha zona de subducción (Figura 9). Esta zona de subducción termina en los sistemas de fallas transcurrentes El Pilar y San Sebastián. Los procesos que tienen lugar en la parte inferior de la litosfera, donde el comportamiento es viscoso y prácticamente asísmico, en lugar de en el régimen frágil próximo a la superficie de la placa sugieren que el borde meridional de la anomalía de la placa incluye manto litosférico sudamericano desprendido desde una posición situada al menos tan al oeste como los 69° O (Figura 9). Levander et al. (2014) plantean la hipótesis de que el exceso de masa al sur del límite de placa corresponde a la base de la litosfera del margen continental que fue separada viscosamente junto con la placa ATL durante el proceso de subducción.

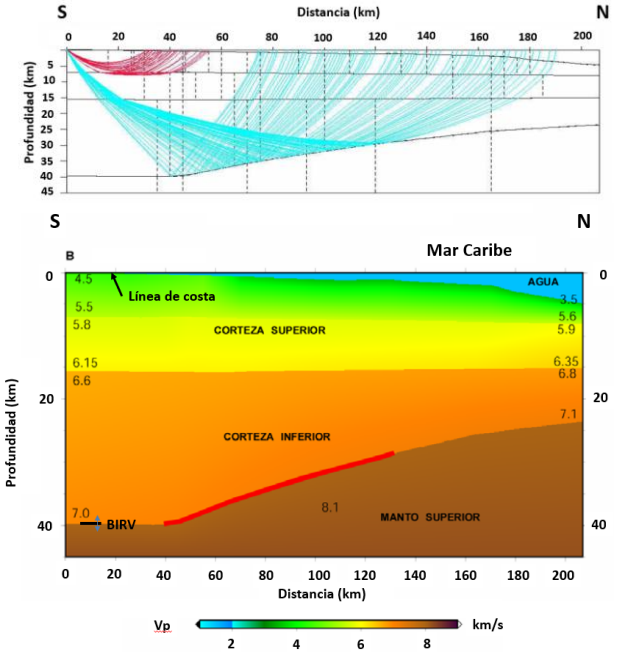


Figura 7. Trazado de rayos (arriba) y modelo de velocidades de ondas P (abajo) del perfil Birongo-norte (Guédez et al., 2003). El modelo indica una variación fuerte del espesor de 40 km en la costa a 25 km unos 80 km hacia el norte. La línea gruesa identifica la zona de control de la reflexión en el Moho (PM); B: Birongo. Profundidad de la función receptora con incertidumbre de BIRV de Niu et al. (2007).

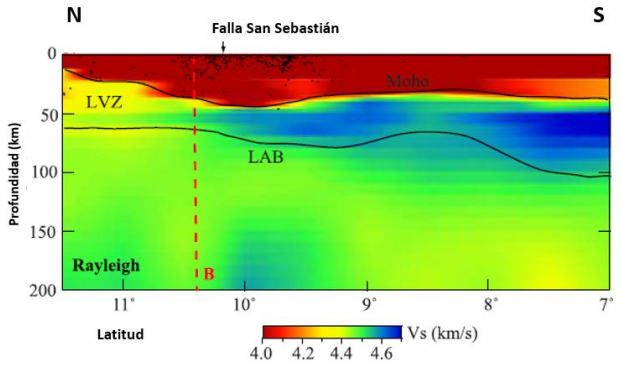


Figura 8. Perfil litosférico N-S entre las longitudes 67°O y 66°O basado en una tomografía de ondas Rayleigh y funciones receptoras Ps y Sp (Masy et al., 2015). El límite litosfera – astenosfera (LAB) aumenta de 60 km en el norte a 100 km en el sur.

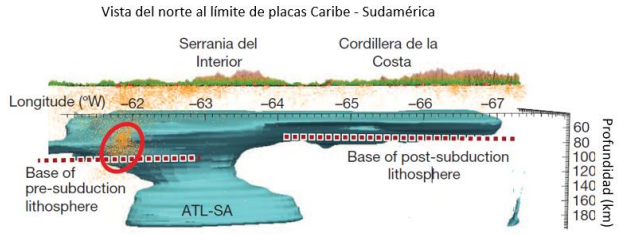


Figura 9. Vista del límite de las placas del Caribe y Sudamérica desde el norte. El espesor de la litosfera disminuye de ~100 km al este de la placa ATL en subducción a ~75 km al oeste de dicha placa, tal como indican las líneas punteadas rojas (Levander et al., 2014).

Evento principal y réplicas

- Datos y Catálogo Sísmico

La secuencia sísmica fue registrada por la red sismológica operada por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) entre el 24 de junio y el 8 de septiembre de 2026 (77 días) en la región comprendida entre 9° y 11° de latitud N y 66° a 69° longitud O. En ese período de tiempo ocurrieron un total de 1776 sismos incluyendo los eventos principales de magnitud Mw 7,2 a 20 km al este de San Felipe y Mw 7,5 a 20 km al oeste de Catia La Mar, las magnitudes de las réplicas variaron entre 5,0 y 1,2. De ellos, 1774 son réplicas (Figuras 10 y 12); 1283 igualan o superan Mc = 2,1 y sustentan los ajustes del valor b y de la ley de Omori (Figuras 12 a 15), y las 1559 registradas hasta el 29 de agosto se usaron en el análisis de Coulomb. La extensión este-oeste de la ventana espacial fue seleccionada considerando las relaciones empíricas de Wells y Coppersmith (1994), las cuales estiman una longitud de ruptura superficial del orden de 60 a 90 km para sismos principales. Dado que la secuencia tiene dos fuentes principales (el evento occidental Mw 7,2 en 68,5°O y el oriental Mw 7,5 en 67,2°O), el eje este-oeste del área de búsqueda se expandió para cubrir de manera aproximada una distancia equivalente a dos veces la longitud acumulada de ruptura (2L), incorporando las zonas de transferencia de esfuerzo hacia las fallas adyacentes. La ventana en dirección norte-sur se extendió hasta los 9°N para monitorear la posible activación de esfuerzos sobre los sistemas de fallas secundarias en la Serranía Interior. En la Figura 10 se muestra el mapa de epicentros donde se evidencia la concentración de sismicidad a lo largo del sistema de fallas costero y la activación de agrupamientos secundarios hacia la región sur de la falla de San Sebastián y la Serranía Interior.

Inicialmente los eventos fueron registrados por 14 estaciones sismológicas, a la fecha se ha incorporado un mayor número de estaciones sismológicas y acelerográficas al análisis por lo que actualmente se cuenta con más de 20 estaciones para el registro de la sismicidad. Adicionalmente se cuenta con estaciones compartidas con el Servicio Geológico Colombiano y el Centro Sismológico de la UWI, Trinidad.

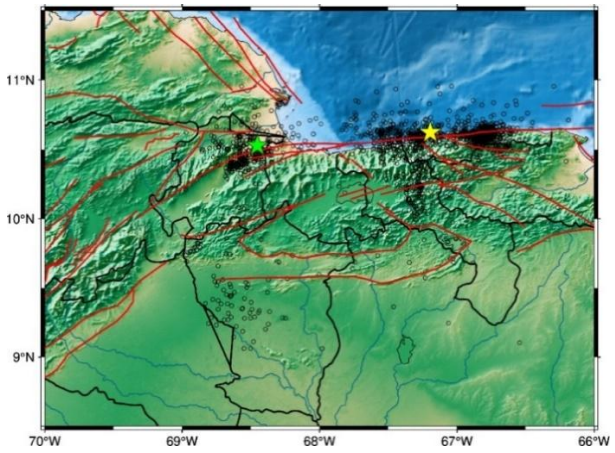


Figura 10. Distribución epicentral de la secuencia de réplicas de los sismos del 24 de junio de 2026. Las estrellas indican los epicentros de los eventos principales: sismo occidental Mw 7,2, (estrella verde; FUNVISIS, 2026) y oriental Mw 7,5 (estrella amarilla; USGS, 2026). Los círculos negros representan las réplicas registradas (un total de 1774) durante la ventana de observación. Las líneas rojas corresponden a las trazas de las fallas activas (Audemard et al., 2000).

- Determinación de la Magnitud de Completitud y valor b de la secuencia de réplicas

El análisis estadístico de una secuencia de réplicas requiere definir el rango de magnitudes en el que el catálogo sísmico es completo, la magnitud de completitud (M_c) representa el umbral a partir del cual el 100 % de los sismos ocurridos son detectados y localizados por la red instrumental. Los sismos por debajo de la magnitud de completitud no pueden ser detectados debido a diversos factores como la expansión geométrica, la atenuación anelástica y el nivel de ruido ambiental lo que puede provocar una caída en el número de sismos observados.

Para la determinación de M_c se aplicó el método de ajuste por R^2. Este algoritmo estima de forma iterativa el porcentaje de la varianza de la distribución frecuencia-magnitud que es explicado por la ley de Gutenberg-Richter a medida que se desplaza la magnitud de corte M_c desde la magnitud mínima M_{min} hasta la magnitud máxima menos uno (M_{max} - *1*), la proporción de la varianza se calcula a través de la Ecuación 1.

$$R^2(M_c) = 1 - \left(\frac{\sum_i (log_{10}N_i - (a - bM_i))^2)}{\sum_i (log_{10}N_i - \overline{log_{10}N})^2}\right) \text{ (Ec. 1)}$$

En la Figura 11 se muestra la magnitud de completitud y el análisis de estabilidad del valor *b* de la secuencia de réplicas. En el eje izquierdo (curva azul) se representa el coeficiente de determinación (R^2) entre la distribución frecuencia-magnitud acumulada observada y la solución analítica de la ley de Gutenberg-Richter ajustada por máxima verosimilitud (Aki, 1965; Utsu, 1966). Para $M_c < 2{,}1$, los valores de R^2 reflejan la distorsión convexa por baja detección instrumental; a partir de $Mc \geq 2{,}1$, el ajuste es un coeficiente de determinación que supera el 98 % de correlación antes de decaer en, aproximadamente, $M_c > 3{,}5$ debido a la disminución de magnitudes altas. En el eje derecho (curva naranja) se representa el valor del parámetro *b* en función de la magnitud de corte. Se aprecia el ascenso en la región incompleta ($M_c < 2{,}1$) y la posterior invariancia de escala en el rango $2{,}1 \leq Mc \leq 3{,}2$. La línea vertical roja discontinua define la magnitud de completitud adoptada ($M_c = 2{,}1$, con $b = 1{,}0397$).

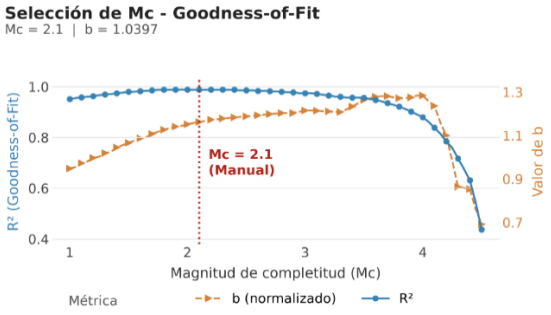


Figura 11. Determinación de la magnitud de completitud (M_c) y análisis de estabilidad del parámetro b de la secuencia de réplicas. El eje izquierdo (curva azul) muestra el coeficiente de determinación (R^2). En el eje derecho se muestra el valor b en función de la magnitud de completitud.

La Figura 12 muestra el gráfico magnitud-frecuencia acumulada ajustado por la ley de Gutenberg-Richter sobre la serie acumulada de réplicas observadas (puntos azules) con los valores ajustados de M_c y valor *b*. La recta punteada roja representa el modelo ajustado por máxima verosimilitud (b = 1,0397 ± 0,029; R^2 = 0,9825) para magnitudes mayores a M_c=*2,1*. Los puntos grises muestran un número constante de eventos debido a que estas magnitudes están por debajo del umbral de detección.

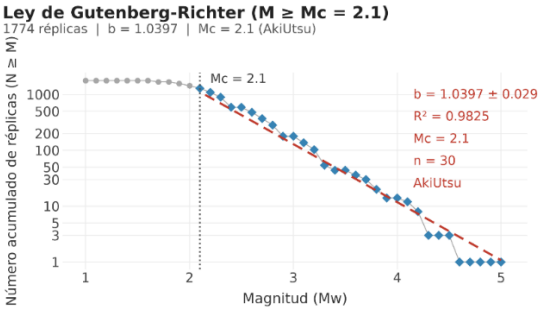


Figura 12. Ajuste de la ley de Gutenberg-Richter ($log_{10}N = a - bM$) para las réplicas de los eventos del 24 de junio de 2026.

- Evolución Temporal de la Secuencia

En la Figura 13 se muestra la evolución temporal de las magnitudes (magnitud vs tiempo UTC) de las réplicas a lo largo de 77 días de registro (24/jun al 8/sept). En el extremo superior (24 de junio) se destacan los círculos rojos que representan los sismos de Mw 7,2 y Mw 7,5. La réplica de mayor tamaño registrada fue de magnitud 5,0, la diferencia de magnitud entre $\Delta M = 7{,}5 - 5{,}0 = 2{,}5$ *o* $\Delta M = 7{,}2 - 5{,}0 = 2{,}2$, esta diferencia representa una desviación importante frente al valor empírico de la ley de Båth (Shcherbakov y Turcotte, 2004; $\Delta M = 1{,}2$). La línea horizontal punteada azul muestra el umbral de la magnitud de completitud.

A partir del gráfico se puede observar el decaimiento progresivo a lo largo del tiempo pasando de más de cien sismos por día en los primeros días, a una actividad más dispersa a finales de agosto y septiembre. Sin embargo, también se pueden apreciar reactivaciones locales del campo de esfuerzos, estos episodios se pueden observar los días 10 y 20 de julio; 02, 18 y 28 de agosto. Este proceso de relajación fue propuesto por Correig et al. (1997) y Moreno et al. (2001) y podría estar relacionado con cascadas o reactivaciones locales del esfuerzo desencadenadas por réplicas conductoras (*leading aftershocks*).

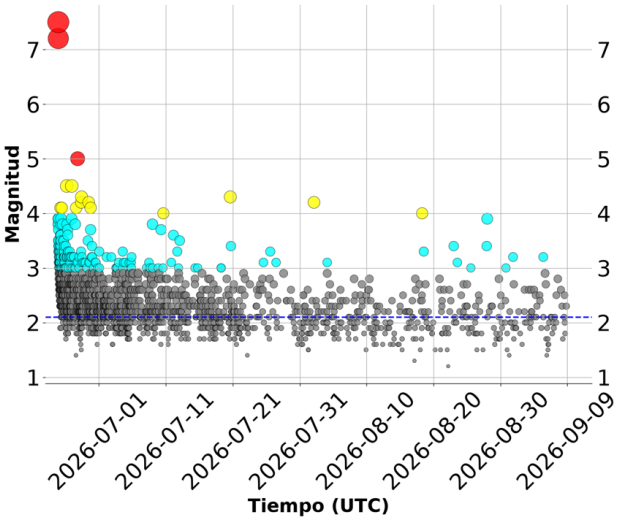


Figura 13. Evolución temporal de las magnitudes de la secuencia del 24 de junio de 2026. Los círculos rojos identifican los sismos de magnitud $M \geq 5{,}0$, círculos amarillos $4{,}0 \leq M < 5{,}0$, círculos cian $3{,}0 \leq M < 4{,}0$, círculos grises $M < 3{,}0$ .Se aprecian reactivaciones discretas en julio y agosto asociadas a eventos $M \leq 4{,}0$

El ajuste temporal mediante la ley de Omori modificada (Utsu, 1961; Utsu et al., 1995) se presenta en la Figura 14; esta ley modela la tasa de generación de réplicas en función del tiempo *n(t)* a través de la Ecuación 2.

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \frac{K}{(c+t)^p} \text{ (Ec. 2)}$$

donde t representa el tiempo (en días) transcurrido desde el sismo principal, *K define* el número inicial de réplicas, c está relacionada con el decaimiento inicial y *p* el exponente de decaimiento. En la Figura 14 se muestra el resultado del ajuste

de la curva (K = 1702,66; c = 4,5075 días; p = 1,483). El valor de $p = 1{,}483$ muestra una atenuación acelerada de la sismicidad comparada con el promedio global ($p \approx 1{,}0$). El valor de $c = 4{,}508$ días frente a valores habituales de horas podría atribuirse a la complejidad de la doble ruptura, que mantiene una tasa sostenida de sismos durante los primeros 8 a 10 días. Para conocer el número acumulado de sismos esperados *N(t)* se calcula la integral en el intervalo de tiempo considerado como se indica en la Ecuación 3

$$N(t) = \int_{to}^{tf} \frac{K}{(c+t)^p} dt \quad \text{(Ec. 3)}$$

La solución de la integral acumulada *N(t)* reproduce bastante bien los datos empíricos (1277 eventos teóricos) frente a 1283 observados por encima de M_c, sin embargo, la curva observada exhibe una ligera diferencia positiva respecto a la integral teórica, marcando el pulso en cascada desencadenado por réplicas Mw 4,3 y reactivaciones menores asociadas.

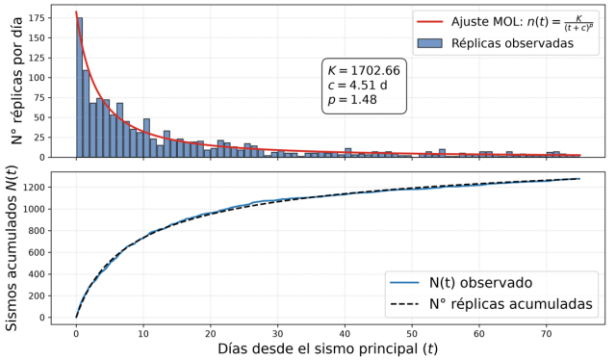


Figura 14. En el panel superior se muestra el decaimiento del número de réplicas por día y el ajuste temporal mediante la ley de Omori modificada (línea azul). En el panel inferior se muestra el número de sismos acumulado (línea azul) y el valor teórico (línea punteada).

- Distribución Espacial y mapa del valor b

El valor b disminuye al aumentar el esfuerzo diferencial (Scholz, 1968; Schorlemmer et al., 2005) como se muestra en la Ecuación 4. Un valor medio regional no permite conocer las variaciones locales del esfuerzo tectónico.

$$b \propto \frac{1}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad \text{(Ec. 4)}$$

Es importante conocer el valor segmentado por celdas del valor b para mapear la distribución espacial de los esfuerzos remanentes. Celdas con valores $b < 0{,}8$ señalan asperezas bloqueadas o sectores de la falla donde la ruptura retuvo energía elástica. Por el contrario, valores $b > 1{,}2$ evidencian sectores con marcada caída de esfuerzo en las que el medio pasa a un estado relajado dominado por microdeformación residual (Scholz, 1968; Wiemer y Wyss, 1997, 2002).

En la Figura 15 se muestra el mapa de la distribución espacial del valor *b* calculado por el método de Aki-Utsu con magnitud de completitud M_c=*2,1* dentro de celdas de 0,15° x 0,15°. Esta representación muestra la heterogeneidad del valor *b* a lo largo del sistema de fallas en 17 celdas. Se observa que la actividad se distribuye en dos regiones separadas por una brecha sísmica central entre aproximadamente 68,4° O y 67,7° O. El segmento occidental, asociado a la fuente de magnitud Mw 7,2, en la zona meridional paralela a la costa (~ 10,5°N) predominan valores b entre 0,6 y 0,96. En la región más al norte alineada a la costa (~ 10,65°N) se tienen valores b bajos (0,68) (n=29) al este del epicentro de Mw7,5 y otro b= 0,78 (n=20) en el extremo oriental. Estas zonas marcan zonas de concentración de esfuerzos hacia la prolongación de la falla. Riquelme et al. (2026) interpretan la ausencia de réplicas entre los dos eventos como la expresión de una zona de alta velocidad de ruptura hasta 5 km/s. Al sur se observan valores b altos (1,25 a 1,47) en una región que concentra el mayor número de sismos; estos valores muestran una relajación elástica del esfuerzo. Finalmente, la celda más al sur en el interior continental (~10,2°N, 67,35° O) muestra un valor extremo de b = 1,48 (n = 16). Esta condición, junto con las réplicas al este de Maracay (Figura 10) confirma que la migración hacia el sur tardía identificada en la secuencia no representa la propagación de una ruptura principal, sino un reajuste secundario sobre los sistemas de fallas al sur (falla de La Victoria).

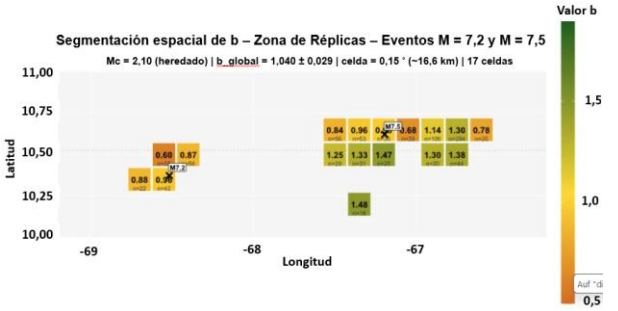


Figura 15. Mapa de distribución de los valores b en celdas de 0,15°x0,15°, se observa la heterogeneidad del valor b alrededor de los dos epicentros y mostrando cómo se polarizan los valores separados por una brecha sísmica.

- Transferencia estática de esfuerzo de Coulomb entre las dos rupturas

La distribución del valor b (Figura 15) separa dos regímenes mecánicos mediante la brecha sísmica central (68,4°–67,7° O). Para evaluar si esa brecha corresponde a un segmento que retuvo esfuerzo o a un segmento relajado por el propio evento complejo, se calculó el cambio del esfuerzo de falla de Coulomb (*Coulomb failure stress change*), $\Delta CFS = \Delta\tau + \mu' \cdot \Delta\sigma_n$ (King et al., 1994; Stein, 1999), donde $\Delta\tau$ es el cambio del esfuerzo de cizalla sobre la falla receptora en su dirección de deslizamiento, $\Delta\sigma_n$ el cambio del esfuerzo normal (positivo en el sentido de reducir la compresión) y μ' el coeficiente de fricción aparente. Valores positivos indican que la ruptura aproximó a la falla receptora a la condición de falla; valores negativos definen una sombra de esfuerzo. Cambios del orden de 0,01 MPa se consideran suficientes para modular la sismicidad (King et al., 1994; Harris, 1998).

La ruptura del Mw 7,2 (USGS us6000t7zc) se representó como un plano rectangular de deslizamiento uniforme (L = 60 km, W = 15 km, deslizamiento 2,67 m, $M_0 = 7{,}9 \cdot 10^{19}$ N·m), de mecanismo dextral, casi vertical y rumbo 79°. La ruptura del Mw 7,5 (us6000t7zp) se tomó del modelo de falla finita del

USGS (130 subfallas con momento y *rake* individuales; Mw 7,54, rumbo ≈ 86°, buzamiento ≈ 77°), situada 149 km al este y 28 km al norte del primer epicentro. Como falla receptora se adoptó un plano dextral del sistema San Sebastián (rumbo 86°, buzamiento 88°, *rake* 180°), con μ' = 0,4, μ = 33 GPa y ν = 0,25. Para el corte sobre el plano de falla (Figura 18), ambas rupturas se representaron como rectángulos de deslizamiento uniforme; el Mw 7,5, con L = 100 km, W = 18 km, rumbo 86°, buzamiento 77° y deslizamiento ≈ 3,8 m, en lugar del modelo de falla finita, que representa un frente continuo de ~243 km (Contreras et al., 2026a).

El campo de esfuerzo se calculó con dos formulaciones independientes: (i) superposición de dobles pares puntuales con la función de Green estática de Kelvin (Thomson, 1848) en medio elástico completo, con derivación numérica del tensor de esfuerzo, y (ii) dislocaciones rectangulares de Okada (1992) en semiespacio con superficie libre. La primera se empleó como estimación inicial; la segunda resuelve el campo cercano y el efecto de la superficie libre, y es la que se reporta (Tabla 1). En la formulación (i) se comprobó la convergencia del resultado al refinar el paso de derivación (h = 1,0; 0,5 y 0,25 km). En la formulación (ii) se verificó la condición de superficie libre ($\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0$ en $z = 0$) y el convenio de signo del deslizamiento, contrastado en campo lejano con la condición de que una ruptura dextral carga su continuación a lo largo del rumbo. Las geometrías se basan en las localizaciones y en el modelo de deslizamiento del USGS; los resultados dependen de la posición relativa de las dos rupturas y se recalculan de forma inmediata si se adoptan otras localizaciones.

Para el análisis de réplicas se utilizaron 1559 eventos del catálogo de FUNVISIS entre el 24 de junio y el 29 de agosto de 2026, evaluando el ΔCFS del campo combinado en la posición tridimensional de cada uno. La significancia de la fracción de réplicas en zonas de carga se estimó con dos hipótesis nulas: permutación independiente de la posición horizontal de cada réplica, y rotación rígida de la nube completa de réplicas alrededor de su centroide (1500 realizaciones), que preserva el agrupamiento espacial.

La ruptura del Mw 7,2 produce un patrón de cuatro lóbulos característico de una falla de rumbo, con carga a lo largo de su continuación hacia el este (Figura 16). El ΔCFS en el hipocentro del Mw 7,5 es +0,0133 MPa en semiespacio (+0,0071 MPa en medio completo), del orden del umbral de disparo; el 41 % del círculo de 100 km de radio en torno a la fuente queda en carga. A 10 km de profundidad y sobre receptores de rumbo 86° (Figura 16), el ΔCFS a lo largo de la línea entre ambos epicentros decrece de +2,6 MPa junto al extremo oriental de la ruptura hasta +0,014 MPa a 150 km. Resuelto sobre el propio plano de falla (Figura 18a), con el receptor orientado según el rumbo de la ruptura, el ΔCFS es positivo en toda su continuación oriental y el contorno de +0,01 MPa cruza el plano a unos 130 km del primer epicentro (entre 127 y 132 km, de 1 a 20 km de profundidad).

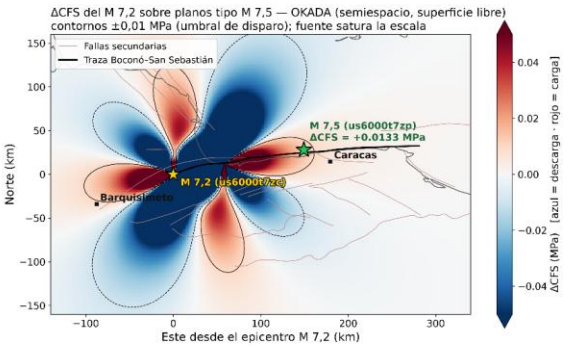


Figura 16. ⊿CFS producido por la ruptura del Mw 7,2 sobre planos receptores dextrales de rumbo 86°, calculado en semiespacio con superficie libre (Okada, 1992) a 10 km de profundidad, μ' = 0,4. Rojo: carga; azul: descarga. Contornos negros: ±0,01 MPa (continuo positivo, discontinuo negativo). Estrellas: epicentros del Mw 7,2 (verde) y del Mw 7,5 (amarilla, ⊿CFS = +0,0133 MPa). Línea negra: traza Boconó–San Sebastián; líneas rosadas: fallas secundarias. La escala de color se satura en ±0,05 MPa.

Con el campo combinado de ambas rupturas, el segmento situado entre 45 y 80 km al este del primer epicentro (≈ 68,15°–67,85° O; en adelante, brecha de réplicas, dentro de la brecha sísmica de 68,4°–67,7° O de la Figura 15) presenta un ΔCFS mediano negativo de −0,26 MPa en el volumen adyacente a la falla (Figura 17). Al suprimir el deslizamiento que el modelo de falla finita asigna a ese segmento —consistente con la ausencia de liberación de momento que indican la retroproyección y la inversión de Contreras et al. (2026a)— el valor es −0,31 MPa. La sombra de esfuerzo en la brecha de réplicas es, por tanto, un efecto de las dos rupturas adyacentes y no depende de que el segmento intermedio haya deslizado. Sobre el propio plano de falla (Figura 18b) el segmento intermedio queda en carga por ambas rupturas, como corresponde a la continuación de dos fallas de rumbo; la sombra corresponde al volumen fuera del plano (±18 km), dominado por los lóbulos negativos de ambos eventos.

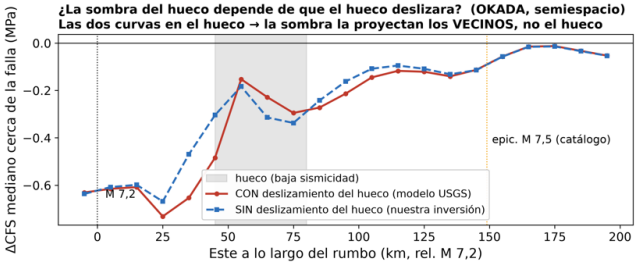


Figura 17. ⊿CFS mediano en el volumen adyacente a la falla (±18 km de la traza, profundidades de 8 a 16 km, excluidos los puntos a menos de 8 km del centro de una subfalla) a lo largo del rumbo, para el campo combinado Mw 7,2 + Mw 7,5 en semiespacio (Okada, 1992). Rojo: con el deslizamiento del modelo de falla finita del USGS en la brecha; azul: sin deslizamiento en la brecha. Banda gris: brecha de réplicas (45–80 km). Línea punteada: epicentro del Mw 7,5.

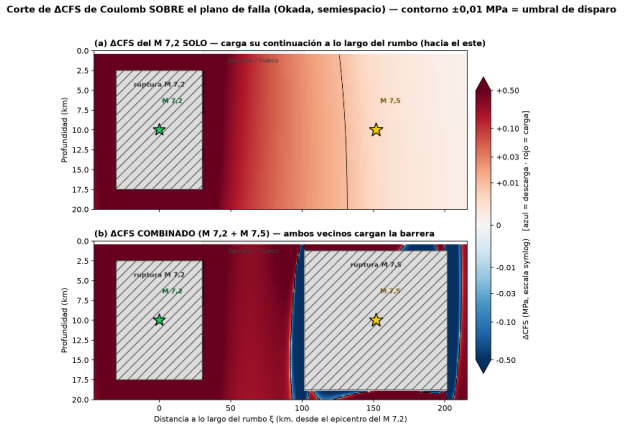


Figura 18. ⊿CFS resuelto sobre el plano de falla en función de la distancia a lo largo del rumbo desde el epicentro del Mw 7,2 y de la profundidad (Okada, 1992; escala simétrica logarítmica). Cada evento se representa como un rectángulo de deslizamiento uniforme; las huellas de ruptura se muestran rayadas. (a) Mw 7,2 solo; el contorno de +0,01 MPa cruza el plano cerca de 130 km. (b) Campo combinado Mw 7,2 + Mw 7,5: el segmento intermedio queda en carga por ambas rupturas y los lóbulos de descarga se sitúan en los bordes de cada una.

El 83 % de las réplicas se localiza en zonas con ΔCFS > 0. Bajo la hipótesis nula de permutación independiente la fracción esperada es 51 ± 1,3 %, lo que situaría el valor observado a 26 σ; bajo la hipótesis nula de rotación rígida, que respeta el agrupamiento de las réplicas, la fracción esperada es 53 ± 23 % y el valor observado corresponde a z = 1,3 (p = 0,18). La correlación entre la distribución de réplicas y el campo de Coulomb no es, por tanto, estadísticamente significativa; la mayor parte del acuerdo aparente proviene de que las réplicas se alinean con la ruptura oriental, que coincide con la zona cargada. Los resultados sobre el hipocentro del Mw 7,5 y sobre la brecha de réplicas son valores del campo y no dependen de este análisis.

Tabla 1. Comparación de las dos formulaciones en el esfuerzo de Coulomb (⊿CFS). Los valores en la brecha de réplicas son medianas en el volumen definido en la Figura 17. El medio completo subestima el campo (factor ≈ 2 en el hipocentro y 3–4 en la brecha) por omitir la superficie libre y no resuelve el campo cercano sobre el plano de falla.

Magnitud / Parámetro	Kelvin (medio completo)	Okada (semiespacio)
ΔCFS en el hipocentro del Mw 7,5, producido por el Mw 7,2	+0,0071 MPa	+0,0133 MPa
ΔCFS mediano en la brecha, con el deslizamiento del modelo del USGS	−0,084 MPa	−0,26 MPa
ΔCFS mediano en la brecha, sin deslizamiento en la brecha	−0,081 MPa	−0,31 MPa
Fracción del círculo de 100 km con ΔCFS > 0	40 %	41 %
ΔCFS sobre el plano en el segmento intermedio (65 a 150 km)	no resoluble	+2,6 a +0,014 MPa

Nota: ΔCFS representa el cambio en el esfuerzo de Coulomb (Coulomb Failure Stress).

Antecedentes de la microzonificación sísmica en Caracas

Los daños generados por los terremotos del 24 de junio de 2026 en muchos casos fueron amplificados por efectos de sitio relacionados con cuencas sedimentarias o efectos topográficos. Los valores de aceleración pico en roca fueron de 0,239 y 0,226 g en la estación Cagigal y 0,098 g y 0,090 g en la estación El Llanito para las componentes N-S y E-O, respectivamente (Ascanio et al., 2026). Al ubicar los daños en Caracas con relación a las microzonas sísmicas (Figura 19), se observa una concentración de los daños en microzonas sísmicas relacionadas a los sedimentos del valle de Caracas, tal como lo observaron Pinto et al. (2026).

Destacan las zonas de sedimentos con espesores mayores de 120 m en San Bernardino en el oeste del valle y Los Palos Grandes – Sebucán/Los Dos Caminos en el este (microzonas sísmicas 6 y 7 en la Figura 19). Sin embargo, también hay una concentración de daños en El Paraíso en el oeste y Bello Campo y Boleíta en las microzonas sísmicas 4 y 5 con espesores de sedimentos entre 60 y 120 m. Hernández y Schmitz (2023) resaltaron la necesidad prioritaria de adecuar las edificaciones construidas en la zona de la cuenca entre 1947 y 1967 considerando un evento probable de intensidad IEMS ~ 8 en el centro de Caracas. Igualmente argumentan que las construcciones informales, en las cuales se observaron pocos daños y colapsos en junio de 2026, podrían resistir intensidades mayores que las edificaciones antiguas en la cuenca. Un punto que favoreció el buen comportamiento de las edificaciones informales fue el hecho de que no se habían presentado lluvias en los 4 días previos a los eventos con solo 0,2 y 2,4 mm entre los días 23 y 25 de junio (Departamento de Hidrometeorología UCV, 2026) por lo cual no se generaron deslizamientos que pudieran haber afectado dichas edificaciones.

Durante su historia, Caracas ha sufrido varios terremotos destructivos, siendo el más estudiado hasta la fecha el terremoto de Caracas de 1967, con una magnitud de 6,6, que ocurrió como un terremoto de eventos múltiples de 25 km al noroeste hasta 14 km al norte de Caracas (Suárez y Nábělek, 1990), que causó daños a numerosos edificios, incluido el colapso de 4 edificios de varios pisos (e.g. Briceño et al., 1978), con más de 300 personas muertas. Investigaciones de daños de edificios se realizaron en detalle, incluidas las características dinámicas del suelo y la construcción, y las características de ingeniería sísmica de los depósitos, visto como factor fundamental de los daños causados por terremotos (e.g. Seed et al., 1970). El particular comportamiento de los depósitos de suelo espeso en el este del valle de Caracas había atraído la atención durante las últimas décadas, lo que llevó a estudios detallados de respuesta sísmica y características de movimientos del suelo (e.g. Papageorgiou y Kim, 1991; Semblat et al., 2002; Rocabado et al., 2006).

Durante el estudio de microzonificación sísmica de Caracas en los años 2005-2009 se identificaron zonas de una respuesta similar al movimiento sísmico, con el fin de poder ajustar el diseño sísmico de los edificios para las diferentes zonas dentro de la ciudad mediante la integración de información geológica, geofísica, geotécnica y sismológica y la definición de microzonas sísmicas en un enfoque interdisciplinario. La geología de Caracas está dominada por el macizo El Ávila con rocas precámbricas en el norte, que ha generado cuencas sedimentarias al norte (La Guaira) y al sur (Caracas; Figura 20).

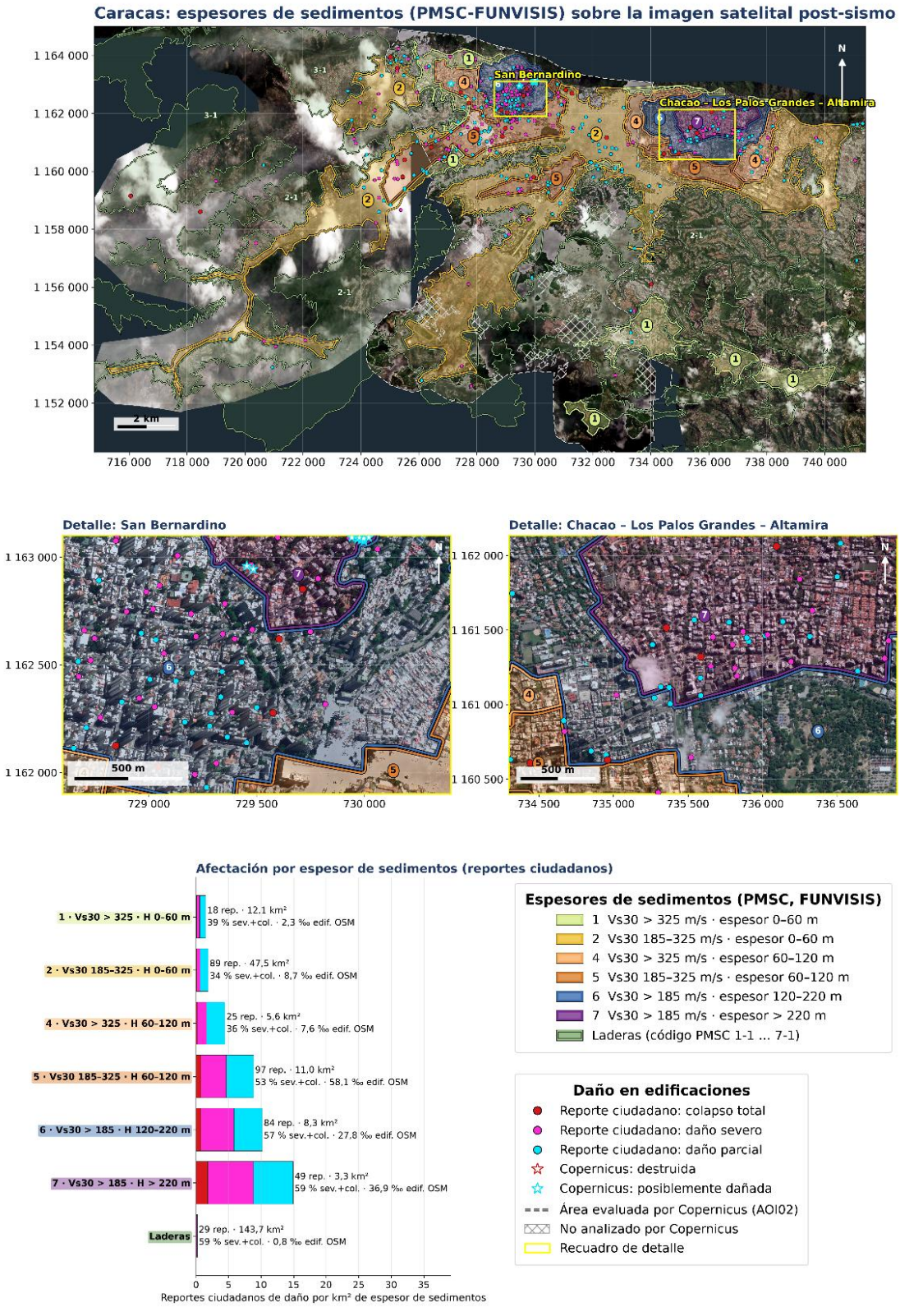


Figura 19. Imagen de los daños reportados por la ciudadanía en sismolaguaira.sisgeos.org y en el sistema Copernicus EMSR884 sobre las microzonas sísmicas del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas – PMSC (Hernández et al., 2011; Schmitz et al., 2011; 2020) de toda Caracas (arriba) y el detalle de San Bernardino y Los Palos Grandes – Altamira (centro). Abajo se indican los reportes ciudadanos por microzona (izquierda) y la leyenda (derecha).

Para la generación del modelo de subsuelo del valle de Caracas se ha dado especial énfasis a la relación entre geología, geofísica y características de los depósitos y la respuesta dinámica que generan, para definir el espectro de cada microzona sísmica. La base de la delimitación de las microzonas sísmicas es el mapeo geológico y geomorfológico, con información sobre espesores de sedimentos y la velocidad de las ondas de corte en los 30 m superiores (VS, 30). La profundidad al lecho de roca se determina mediante una amplia gama de métodos, desde la integración de pozos existentes (principalmente pozos de agua), estudios de refracción sísmica, estimaciones basadas en H/V de análisis de las mediciones de ruido ambiental e integración en un modelado gravimétrico 3D, calibrado con 4 perforaciones profundas. Dos de estas tienen un muestreo geotécnico hasta el lecho de roca para definir el perfil del suelo para el análisis dinámico, y tres de ellas están equipadas con observatorios de movimientos fuertes.

Se realizó una evaluación probabilística de la amenaza sísmica, aplicando un modelo sismogénico revisado (Hernández, 2009a), leyes mundiales de atenuación de la respuesta espectral en diferentes períodos de vibración, e incluyendo efectos de directividad de ruptura de fallas (Abrahamson, 2000), con el objetivo de obtener espectros de peligro uniformes en afloramientos rocosos. Los espectros de peligro uniformes son caracterizados por PGA (A0) y por la respuesta elástica de estructuras con un período T = 1 s (A1). La amenaza resultante se agrupó en cuatro macrozonas con valores representativos {A0; A1} para los espectros elásticos (amortiguamiento ξ = 5%) en la roca, con una recurrencia de 475 años. A0 varía entre 0,265 g en el centro y 0,3 g al norte y al sur, debido a la vecindad a las fallas, mientras que A1 disminuye de 0,28 g en el norte a 0,21 g en el sur de Caracas (Hernández y Schmitz, 2009), ya que depende básicamente de las altas magnitudes sísmicas factibles para las fallas más activas del norte; los respectivos espectros están por debajo de los de la norma COVENIN 1756 (2001) para toda Caracas (A0=0,3g).

La primera fase para la generación del modelo del subsuelo correspondió a una exhaustiva recopilación de todos los datos existentes, por ejemplo, los datos geotécnicos (Feliziani et al., 2004) utilizados para determinar las velocidades de las ondas de corte mediante relaciones empíricas de los datos de las pruebas de penetración estándar (SPT) para determinar los valores Vs30 dentro del valle sedimentario. Para la profundidad al basamento se integraron datos de pozos para la exploración de aguas subterráneas (Kantak et al., 2005), perfiles de refracción sísmica (e.g. Sánchez et al., 2005; Figura 21), estimaciones de profundidad basadas en la conversión de períodos predominantes de alrededor de 2000 sitios individuales de mediciones de ruido ambiental, al que se aplicó el análisis H/V (Rocabado et al., 2006; Figura 22), y un modelado 3D gravimétrico, donde toda la información disponible se utilizó como restricciones para el modelo. Zonas con periodos predominantes superiores a 1 s coinciden con un espesor de sedimento de más de 100-150 m. La información sobre los períodos predominantes también se utiliza para la calibración de los límites de las microzonas sísmicas.

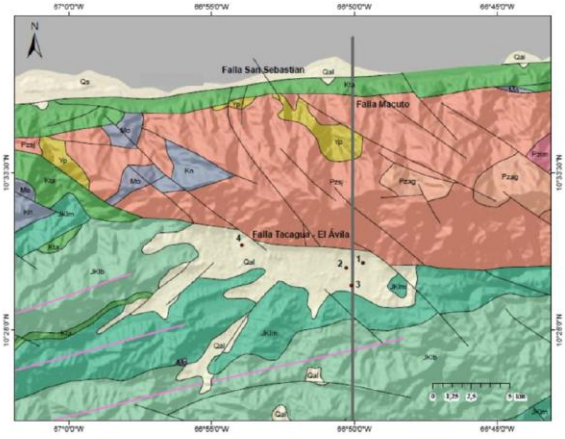


Figura 20. Mapa geológico del valle aluvial de Caracas, rodeado de afloramientos de rocas metamórficas (Hackley et al., 2006 en Schmitz et al., 2020). Las unidades geológicas (de menor a mayor) son: Qal = Pleistoceno a Holoceno; sedimentos aluviales, Qs = sedimentos del Pleistoceno, Kn = complejo Nirgua, Kta = esquisto de Tacagua y mármol Antímano, JKlm = esquisto de Las Mercedes, JKlb = esquisto de Las Brisas, Mo = rocas ultramáficas, Pzsj = complejo San Julián, Pzag = asociación metamórfica de Ávila, rocas metagraníticas, Pzim = asociación metamórfica de Ávila, intermedia a rocas metaplutónicas máficas, Yp = Asociación metamórfica de Ávila, Peña de Mora augengneiss. 1-4: perforaciones geotécnicas al lecho rocoso en el valle aluvial.

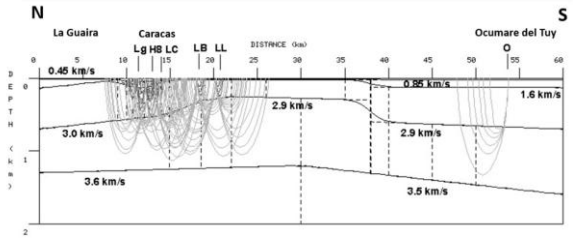


Figura 21. Modelo bidimensional con el trazado de rayos y modelo de velocidades para ondas S de un perfil desde la costa en Caraballeda hasta los Valles del Tuy. Se observa que la cobertura de los rayos alcanza una profundidad máxima de 1 km. Los valores de velocidad Vs del estrato debajo corresponden a los valores Vp/1,732 (Sánchez et al., 2005).

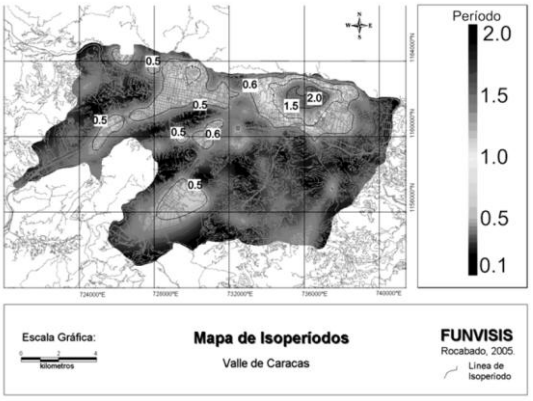
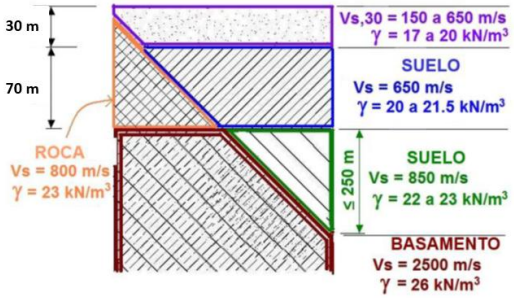


Figura 22. Periodos predominantes en el Área Metropolitana de Caracas; los máximos valores (mayor a 1 s) se localizan en las zonas de San Bernardino en el oeste y Los Palos Grandes, entre La Castellana y Los Dos Caminos en el este (Rocabado et al., 2006).

Para generar los espectros de respuesta en superficie se realizó un estudio paramétrico 1-D de la respuesta dinámica utilizando un análisis equivalente lineal (Schnabel et al., 1972) para diferentes espesores de sedimentos (9 clases entre 10 y 350 m) y la velocidad de las ondas de corte promedio para los 30 m superiores (VS, 30; 9 clases entre 150 y 650 m/s). A cada capa de suelo se aplicaron 2 conjuntos de curvas de comportamiento no lineal, considerando los casos extremos de materiales finos y granulares. Se definió la entrada de movimiento sísmico de seis registros de movimiento fuerte (representativos del peligro sísmico en roca aflorante), deconvolucionados al lecho de roca. Los espectros resultantes, basados en un modelo del subsuelo, se agrupan dentro de 12 clases (Figura 23) según su comportamiento típico en términos del período predominante del suelo y forma espectral.

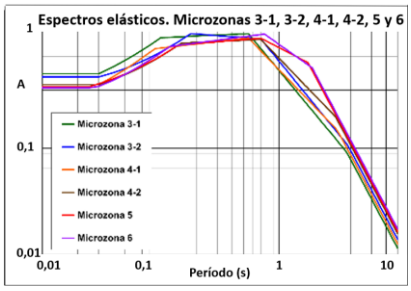
Los resultados están calibrados y corregidos mediante comparación con los espectros de los registros de terremotos y se tomaron en cuenta los efectos de cuenca 2-D y 3-D, que han sido un factor clave para la distribución de daños durante el terremoto de 1967. Usando los espectros derivados por Papageorgiou y Kim (1991) para el área de Los Palos Grandes, se derivaron espectros de respuesta que incluyen efectos 2-D para cada microzona modificando los espectros 1-D, con amplificaciones en el rango de período de hasta 2 s, y con un rango de período extendido de hasta 4 s basado en un modelo 3-D de respuesta sísmica, que se generó utilizando el método del elemento espectral (Delavaud, 2007). Se introdujeron estimaciones de efectos topográficos, siguiendo las recomendaciones francesas (AFPS, 1990) para diferentes situaciones en las laderas, que son responsables de amplificaciones para períodos cortos.

Los espectros de la Figura 24 están asociados a las microzonas sísmicas en la Figura 19. Para la implementación de los resultados del estudio de microzonificación sísmica de Caracas en ordenanzas municipales según la norma COVENIN 1756 (2019) los espectros y los respectivos parámetros de cálculo (Figura 24) han sido ajustados a los requerimientos de dicha norma. Hasta la fecha, las respectivas ordenanzas municipales fueron publicadas en los municipios Libertador, El Hatillo y Sucre.



H, deposit (m)	$V_{S,30}$ (m/s) ≤185	185–325	>325
<60	GP-01/3-3	GP-02/n-2	GP-03/n-1
60–120	GP-04/no	GP-05/4-2	GP-06/4-1
120–220	GP-07/no	GP-08/5	GP-09/5
>220	GP-10/no	GP-11/6	GP-12/6

Figura 23. Esquema de velocidades y pesos específicos del modelo geofísico/geotécnico (izquierda) y grupos de perfiles de suelo genéricos utilizados para la respuesta dinámica de sedimentos y las microzonas sísmicas resultantes asociadas; (n = 1, 2, 3 o 7) (derecha; Hernández et al., 2011).



Microzona	H (m)	A_0	φ	β	T_A (s)	T_0 (s)	T^* (s)	T_D (s)	m	p
3-1	5 a 60	0,28	1,5	2,1	0,03	0,1	0,55	3,7	-0,05	1,28
3-2		0,28	1,4	2,45	0,03	0,18	0,7	3,8	0,08	1,3
4-1	60 a 120	0,28	1,2	2,1	0,03	0,09	0,55	3,1	-0,12	1,1
4-2		0,28	1,2	2,35	0,03	0,15	0,7	3,0	-0,05	1,1
5	120 a 220	0,28	1,15	2,35	0,025	0,14	0,7	1,75	-0,09	0,55
6	> 220	0,28	1,12	2,35	0,028	0,12	0,75	1,9	-0,14	0,75

"-1" corresponde a Vs30 = 325-650 m/s; "-2" corresponde a Vs30 = 185-325 m/s.

Figura 24. Espectros Elásticos en las Microzonas Sísmicas 3-1, 3-2, 4-1, 4-2, 5 y 6, para un período medio de retorno (PMR) de 475 años en la macrozona centro norte de Caracas (izquierda) y parámetros que definen los espectros elásticos de cada microzona sísmica para un coeficiente de amortiguamiento ξ = 5% y un PMR = 475 años (derecha).

Fuera del valle sedimentario, se analizó la estabilidad de las laderas a una escala 1:25.000 con respecto al peligro de deslizamiento provocado por lluvia o sismos (Hernández et al., 2008). Con el fin de establecer recomendaciones para reforzamiento de los edificios de mayor riesgo de la ciudad según su ubicación en las microzonas sísmicas, se realizó una evaluación aproximada de edificios típicos (Hernández, 2009b). Para 13 prácticas de construcción (combinaciones de 9 códigos sísmicos y 7 códigos de diseño de hormigón armado) empleados entre 1939 y 2009, y para edificios de 1 a 20 pisos, se estimaron sus espectros inelásticos de diseño y se compararon con la demanda inelástica de los espectros en 8 microzonas sísmicas, incluidas varias evaluaciones detalladas. Este set fue dividido en grupos de dos espesores de depósitos (más y menos de 120 m), y tres alturas de edificios (bajo, mediano y alto).

Estudios del subsuelo en el estado La Guaira

Los daños más devastadores de los terremotos, asociados a los efectos de campo cercano del evento de magnitud M=7,5 y de un pulso de directividad del evento de magnitud M=7,2 (Contreras et al., 2026b) generado por la propagación de la ruptura con una aceleración PGA de 0,89 g y 0,55 g y velocidades PGV extremadamente altas de 197 y 148 PGV en dirección N-S y en dirección E-O, respectivamente (Bustos et al., 2026) y amplificado por los importantes espesores de sedimentos (Safina, S., com. pers.) y efectos inducidos como licuación del suelo y deslizamientos gravitacionales (e.g. Pinto et al., 2026), se ubicaron en el estado La Guaira (Figura 25), localizado en una franja montañosa limitada por la costa del mar Caribe en el norte con las poblaciones ubicadas sobre sedimentos del Pleistoceno y conos aluviales cuaternarios.

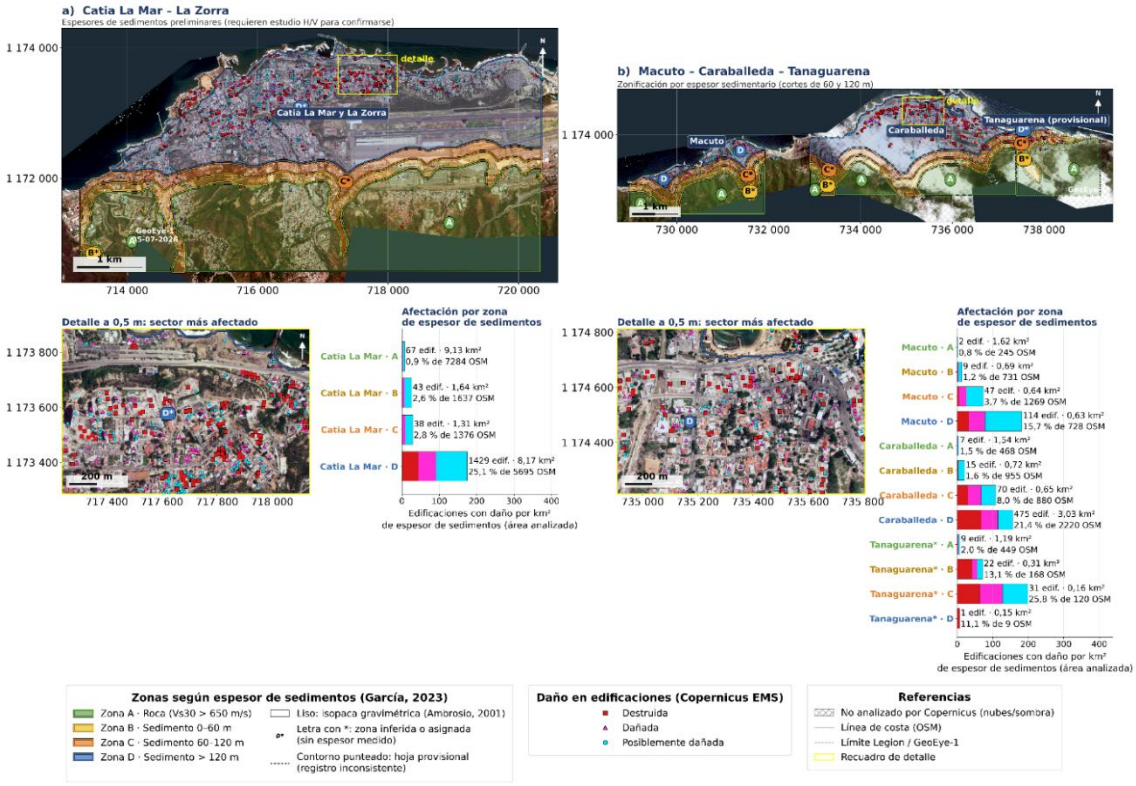


Figura 25. Imagen de los daños reportados por la ciudadanía en sismolaguaira.sisgeos.org y en el sistema Copernicus EMSR884 sobre una zonificación preliminar de espesores sedimentarios (0-60, 60-120 y > 120 m; García, 2023; Cragno y Romero, 2001; Ambrosio, 2001) para Catia La Mar – La Zorra (izquierda) y Macuto – Caraballeda – Tanaguarena (derecha). En cada panel se muestran el mapa general (arriba), el detalle a 0,5 m del sector con más edificaciones destruidas (abajo a la izquierda: Playa Grande y Caraballeda, respectivamente), la afectación por microzona en edificaciones con daño por km² según Copernicus EMS (abajo a la derecha) y la leyenda (debajo).

Debido a la interacción entre la Placa del Caribe y la Placa Sudamericana, el estado La Guaira posee una elevada amenaza sísmica (con A0 = 0,32 g para La Guaira; COVENIN 1756, 2019), donde la Falla San Sebastián marca la línea de costa. La Guaira ha sufrido varios terremotos con destrucciones importantes (Grases et al., 1999); el último, el terremoto de Caracas/Litoral de 1967, con daños en edificios de mediana altura en la zona de Caraballeda.

Las primeras evaluaciones de la profundidad al basamento basadas en perfiles sísmicos estimaron un elevado espesor de sedimentos en esta zona (Murphy et al., 1969). Posterior a los deslaves del año 1999, donde las zonas más afectadas fueron los conos aluviales entre las localidades Catia La Mar y Camurí Grande, se desarrollaron estudios geofísicos para la caracterización de los suelos entre La Guaira y Tanaguarena (Romero et al., 2006). En Caraballeda se realizaron mediciones sísmicas que permitieron determinar un espesor de sedimentos de 400 m (Schmitz et al., 2000; Figura 26, izquierda). Basado en las mediciones de 130 estaciones de ruido ambiental en las zonas de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, Romero et al. (2006) determinaron valores del período fundamental del suelo entre 0,9-1,8 s con valores máximos hasta 2,7 s (Figura 26, derecha).

Se realizaron 348 mediciones gravimétricas para un modelado gravimétrico 3D (Ambrosio, 2001); los mayores espesores se observan en el cono de Caraballeda con valores máximos cercanos a los 450 m hacia la línea de costa, mientras que en el cono de La Guaira se observan espesores máximos de 180 m. El cono de Macuto presenta espesores cercanos a 200 m en el lado oeste y a 290 m hacia el este en Punta El Cojo (Figura 27, izquierda). El modelado gravimétrico realizado por García (2023) confirmó en gran medida estos valores con un máximo de 200 m hacia la línea de costa en el cono de La Guaira, un máximo de 480 m en el cono de Caraballeda y 280 m en el de Macuto.

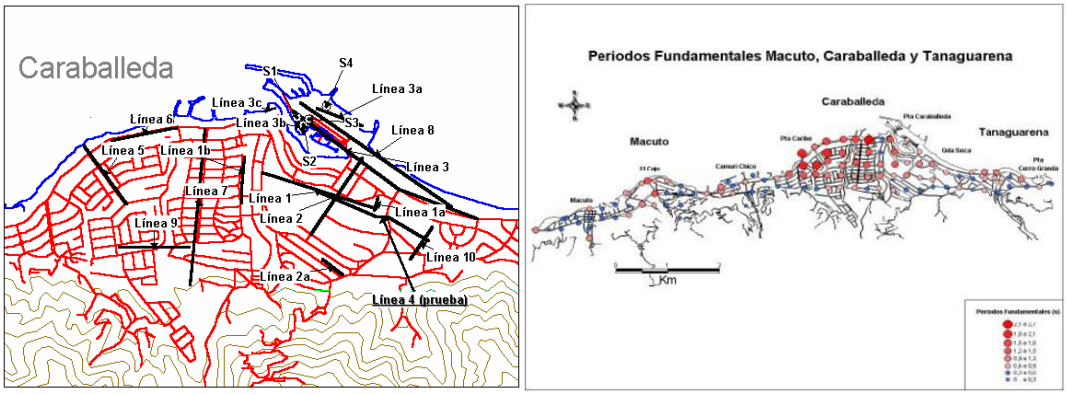


Figura 26. Izquierda: mapa del cono de Caraballeda con las líneas sísmicas de Murphy et al. (1969; líneas 1-3c) y de Schmitz et al. (2000; línea 4). Círculos S1 – S4 indican la ubicación de las perforaciones existentes (Schmitz et al., 2000). Derecha: mapa de períodos fundamentales del suelo de La Guaira (Romero et al., 2006).

En los conos aluviales, el nivel freático se ubica entre 5-10 m de profundidad y las velocidades Vs30, basadas en los análisis de mediciones sísmicas en los diferentes conos, varían generalmente entre 300 y 650 m/s en los conos (con algunas zonas con sedimentos aluvionales poco consolidados con valores por debajo de 300 m/s) y valores mayores a 650 m/s en las laderas al sur (Figura 27, derecha). Esto está en congruencia con evaluaciones posteriores que incorporaron análisis de Vs30 por topografía para todo el estado La Guaira (García, 2023).

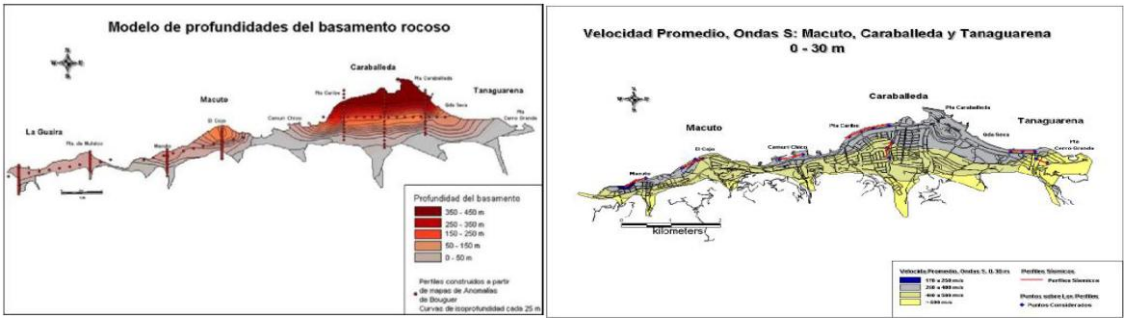


Figura 27. Izquierda: mapa de espesores de sedimentos; derecha: mapa de Vs30 de La Guaira (Romero et al., 2006).

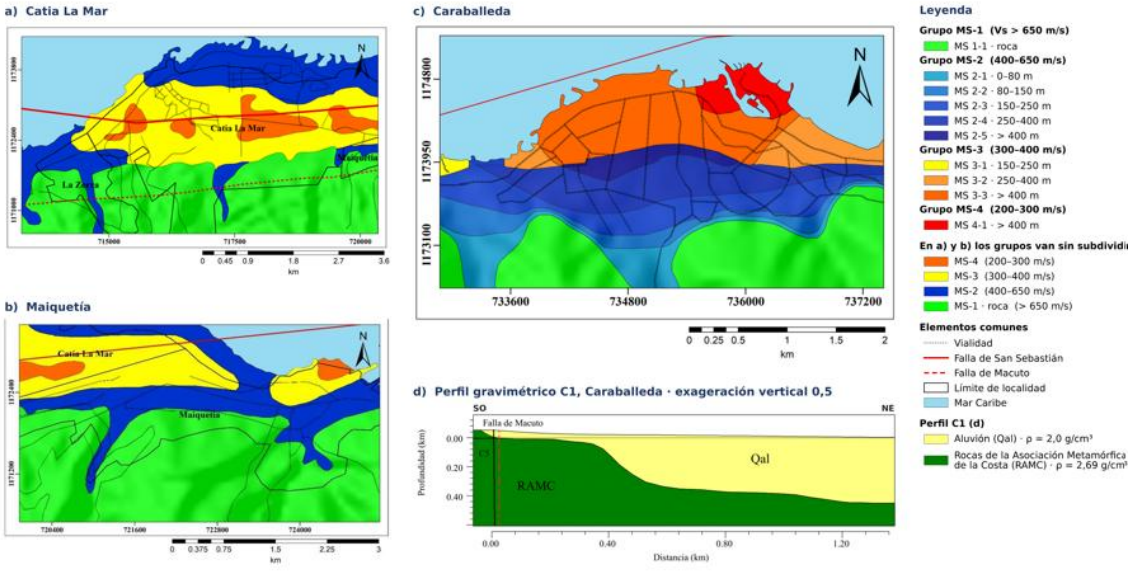


Figura 28. Espesores de sedimentos estimados y Vs30 en: a) Catia La Mar y b) Maiquetía; c) Espesores de sedimentos y Vs30 en el cono de Caraballeda; d) Detalle del perfil gravimétrico de Caraballeda (García et al., 2023).

García (2023) integró los datos geofísicos existentes y generó un modelo gravimétrico 3D (entre La Guaira y Tanaguarena) enfocándose en los valores Vs30 y espesores de sedimentos. Destacan en la zona de Caraballeda espesores mayores a 400 m (Figura 28 derecha), mientras para Catia La Mar y Maiquetía (Figura 28, izquierda) se analizaron los valores Vs30 por topografía (Allen y Wald, 2009) y las tendencias de los topes de roca según Hackley et al. (2006).

Planteamiento para la microzonificación sísmica de La Guaira

Como base para la reconstrucción del estado La Guaira se plantea el desarrollo de un estudio de microzonificación sísmica. El proyecto contempla análisis neotectónico con una evaluación paleosismológica mediante trincheras y su respectivo muestreo y dataciones. Esta información se integra en un modelo sismogénico junto con el análisis sismológico para una actualización del cálculo probabilístico de la amenaza sísmica (PSHA) en roca del estado La Guaira que tome en cuenta el pulso de directividad en el campo cercano.

Como muchos de los daños ocurridos en junio de 2026 se asocian a efectos de sitio y efectos inducidos, se propone un detallado mapeo geomorfológico, densas mediciones geofísicas destinadas a determinar el Vs30 (ReMi, iMASW), los períodos predominantes del suelo (mediciones de ruido ambiental), los espesores de sedimentos (modelado gravimétrico 3D) y los perfiles de Vs al basamento (arreglos de microtremores), así como evaluaciones geotécnicas (hasta 30 m de profundidad) para determinar las profundidades de los suelos e indicaciones para el potencial de licuación (Figura 29).

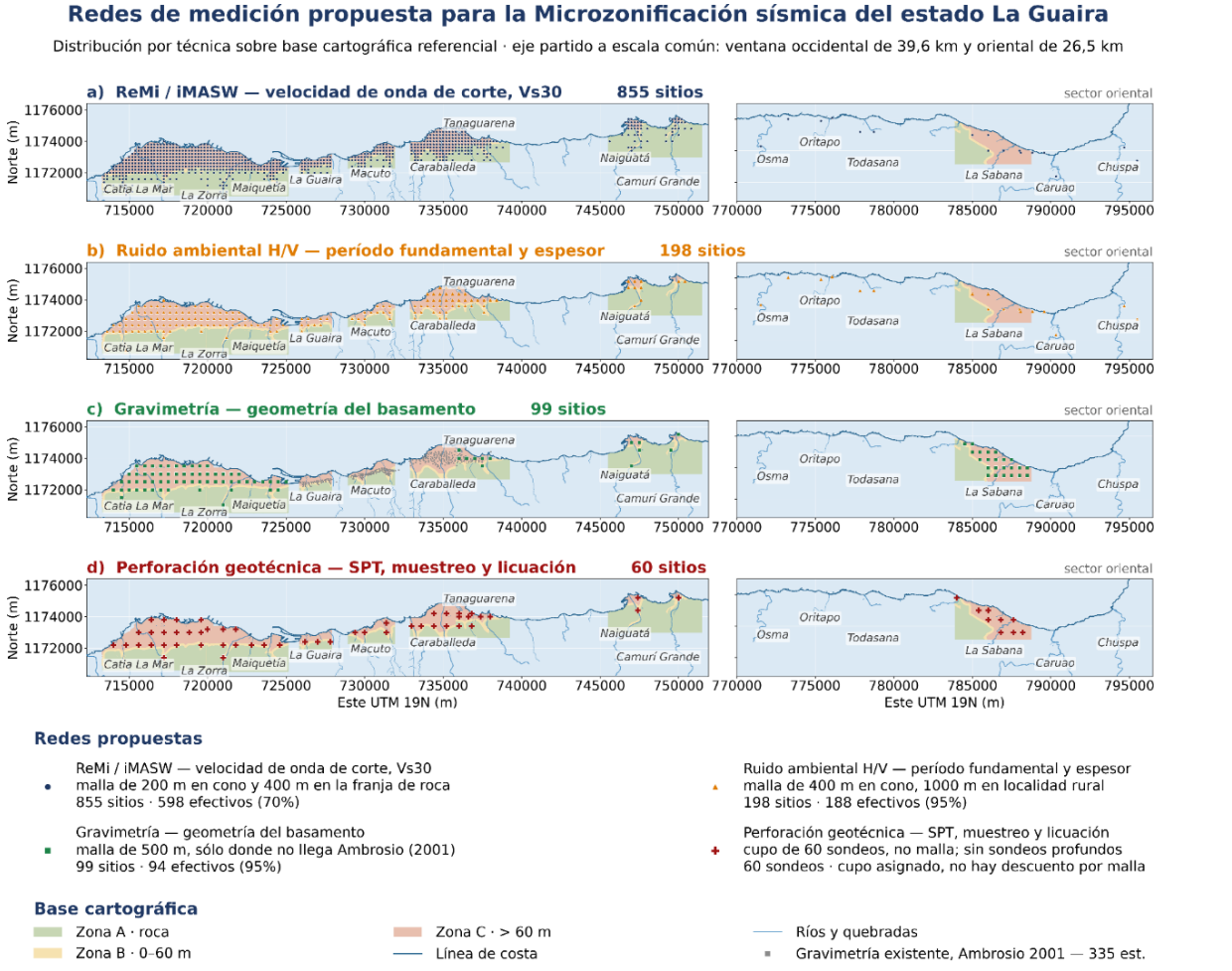


Figura 29. Planteamiento para la cobertura de mediciones geofísicas y perforaciones geotécnicas de 30 m de profundidad para el estudio de microzonificación sísmica del estado La Guaira. Base cartográfica: línea de costa, ríos y quebradas de OpenStreetMap (ODbL). Zonificación derivada de García (2023).

Para obtener los espectros de respuesta en superficie se realizarán análisis de la respuesta dinámica 1D, variando el espesor de sedimentos y la velocidad promedio de ondas de corte de los primeros 30 m (Vs30) de acuerdo con su comportamiento típico, los períodos fundamentales del suelo y los efectos 2D y 3D de la cuenca. Los perfiles del suelo se ubicarán según el mapeo geomorfológico y los resultados de las mediciones geofísicas para valores representativos para las microzonas sísmicas, tomando en cuenta el potencial de licuación, los efectos de sitio, los efectos topográficos y la integración de información del análisis patológico de edificaciones. A cada microzona sísmica delimitada se le asigna

un espectro de diseño según su clase de sitio. Se complementarán los estudios con instrumentación acelerográfica en 4 sitios (1 sobre roca y 3 en zonas sedimentarias) y la evaluación del peligro de tsunami. La información procesada y mapas resultantes se integran en un Sistema de Información Geográfica abierto y en un repositorio que preserve la información y facilite su utilización futura. Con esta información se elaborará una Ordenanza Municipal de Edificaciones Sismorresistentes complementaria a la norma COVENIN 1756 (2019) que sirva de base para la planificación urbana y estratégica de la reconstrucción del estado La Guaira.

Discusión

El norte de Venezuela se sitúa sobre la frontera activa entre la Placa del Caribe y la Placa Suramericana. Ambas estructuras litosféricas se mueven con un desplazamiento relativo lateral derecho de unos 2 cm por año (19,6 ± 2,0 mm/año; Pérez et al., 2018). En la zona de los terremotos del 24 de junio de 2026 están en contacto una corteza oceánica engrosada de unos 25 km de espesor con una corteza continental de 35-40 km de espesor. Sin embargo, en esta parte de la interacción de las dos placas se observa una litosfera adelgazada de unos 60 km de espesor, cuya base fue separada viscosamente durante el proceso de subducción de la placa del Atlántico (Levander et al., 2014).

Los resultados obtenidos del análisis de los eventos principales y de las réplicas muestran que la secuencia de réplicas que se inició el 24 de junio de 2026 no respondió a un proceso de relajación de esfuerzos homogéneo, sino a una compleja interacción ocasionada por una ruptura compleja con dos epicentros principales (Contreras et al., 2026a). Se observó una marcada diferencia en los valores *b* que muestra que los sismos principales actuaron en medios con propiedades contrastantes. En el segmento occidental (enlace Boconó–Morón–San Sebastián), hubo un predominio de valores b bajos (0,60 a 0,96), compatibles con la persistencia de un alto diferencial de esfuerzo. La ruptura del sismo de Mw 7,2 no disipó la totalidad de la energía acumulada.

El segmento más oriental de sistema de fallas de San Sebastián mostró una caída de esfuerzos con una densa zona de daño cortical que generó abundantes microsismos los cuales generaron valores *b* relativamente altos (1,25 a 1,47). Sin embargo, en la franja marina paralela a la costa al este se encontraron valores *b* bajos 0,68 y 0,78. La brecha sísmica entre los dos epicentros parece indicar una barrera que impidió una ruptura continua (Contreras et al., 2026a), forzando la nucleación segmentada del evento complejo. Una celda al sur con valor *b* = 1,48 muestra la migración hacia el sur por reajuste de los esfuerzos sobre el sistema de fallas de La Victoria.

Con una magnitud de completitud Mc = 2,1 (R^2 = 0,9825), la muestra homogénea de 1283 réplicas da un valor b regional de 1,04. Mediante el modelado con la ley de Omori modificada se obtuvieron valores prelminares de K = 1702,6, c = 4,508 días, p = 1,483, estos resultados muestran un régimen de atenuación rápida de la sismicidad superior al promedio tectónico global. El elevado valor de la constante de retardo, marcadamente superior a los estándares regionales, refleja el mantenimiento de una actividad sísmica sostenida durante los primeros 8 a 10 días, que podría estar directamente relacionada con la superposición de esfuerzos originada por las dos rupturas del evento complejo.

Se observaron variaciones discretas el 20 de julio (Mw 4,3), el 2 de agosto (Mw 4,2) y el 18 de agosto (Mw 4,0) que apoyan la hipótesis del doble proceso de relajación (Correig et al., 1997; Moreno et al., 2001). Estos eventos pudieron operar como réplicas conductoras que dispararon subsistemas transitorios de reactivación en cascada, reflejados en los quiebres de pendiente de la integral acumulada observada frente a la solución teórica. Riquelme et al. (2026) la interpretan como la expresión de una zona de una alta velocidad de ruptura hasta 5 km/s.

El primer evento dejó el hipocentro del segundo en una zona de carga estática del orden del umbral de disparo. A 150 km, sin embargo, la transferencia estática es pequeña frente a los esfuerzos dinámicos asociados al paso de las ondas, y el intervalo de 32 s entre ambas nucleaciones es incompatible tanto con una ruptura continua como con el disparo estático retardado; el ΔCFS establece el signo del acoplamiento entre las dos rupturas y el disparo dinámico (Freed, 2005) es la hipótesis más compatible, aunque no está demostrado y se presenta como hipótesis abierta (Contreras et al., 2026a).

La brecha de réplicas coincide con una sombra de esfuerzo de Coulomb proyectada por las dos rupturas adyacentes, resultado que no depende del modelo de deslizamiento adoptado en la brecha ni de la formulación empleada. Este resultado, junto con la ausencia de liberación de momento, de réplicas y de actividad previa en el segmento (Contreras et al., 2026a), no es compatible con una aspereza cargada en estado próximo a la rotura. No permite, en cambio, distinguir entre una barrera con deslizamiento asísmico y una barrera bloqueada, distinción que requiere observaciones geodésicas. Una sombra de esfuerzo implica sismicidad retardada y no ausencia de peligro: la carga tectónica regional restituye el esfuerzo en el segmento con el tiempo (Stein, 1999), y los valores b bajos del segmento occidental (Figura 15) indican esfuerzo diferencial remanente.

En la sección considerando el plano de falla combinado (Figura 18b), el extremo oriental de la ruptura del Mw 7,5 carga su continuación hacia el este, en concordancia cualitativa con los valores b bajos (0,68–0,78) obtenidos costa afuera al este de ese epicentro (Figura 15); el campo no se evaluó en la posición de esas celdas. El cálculo combina localizaciones del USGS para los eventos principales con el catálogo nacional de réplicas, utiliza un único mecanismo receptor y un 21 % de las réplicas tiene profundidad fijada en 5 km; estas limitaciones afectan al análisis de réplicas, no a los valores del campo. La segmentación de la ruptura del 24 de junio en dos eventos sucesivos en lugar de un frente único (Contreras et al., 2026a) es consistente con el control geométrico de la longitud de ruptura modelado para las fallas de San Andrés y San Jacinto (Anderson-Merritt et al., 2026), donde la tracción acumulada favorece rupturas largas pero no basta para superar las complejidades geométricas del sistema.

En Caracas, los daños de 2026, como los de 1967, se concentraron en las cuencas con depósitos profundos de sedimentos (más de 120 m), como Los Palos Grandes/Los Dos Caminos y San Bernardino. Sin embargo, también hubo concentración de daños en zonas de menor espesor de sedimentos, como por ejemplo El Paraíso y Bello Campo (e.g. Pinto et al., 2026; Figura 19), por lo cual se recomienda una actualización de la microzonificación sísmica de Caracas con un enfoque especial en estas zonas.

En el estado La Guaira, los efectos de sitio amplificaron los daños en los conos de deyección de Macuto y Caraballeda y en Catia La Mar. En Catia La Mar y Playa Grande no se dispone de datos detallados del subsuelo, pero hay espesores sedimentarios considerables (Figura 27). Deben modelarse los efectos de las cuencas abiertas al mar y de topografía. Otro fenómeno que contribuyó considerablemente al colapso de edificios fue el fenómeno de licuación del suelo y deslizamientos gravitacionales. En el desarrollo de espectros de diseño deben considerarse las variaciones que se dan de manera muy brusca por las diferentes quebradas que bajan de la montaña de El Ávila con 2 km de altura a menos de 10 km de la costa.

Conclusiones y Recomendaciones

1. La sismicidad ocurrida el 24 de junio de 2026 en el centro-norte de Venezuela está directamente vinculada a la compleja interacción entre la tectónica la estructura litosférica En la zona están en contacto una corteza oceánica engrosada del Caribe, de unos 25 km de espesor, y una corteza continental de 35 a 40 km, sobre una litosfera adelgazada de unos 60 km (Levander et al., 2014). Se descarta la existencia de una zona de alta velocidad asociada a la falla San Sebastián planteada por Magnani et al. (2009) responsable para el comportamiento de la falla en junio 2026. Más bien se considera un aumento gradual del espesor de la corteza hacia la parte continental (Schmitz et al., 2008).

2. La red de FUNVISIS registró 1774 réplicas en 77 días (24 de junio a 8 de septiembre), el valor b regional es 1,04 y el decaimiento sigue la ley de Omori modificada con p = 1,483 y c = 4,5 días; el valor alto de c refleja una actividad sostenida durante los primeros 8 a 10 días, que podría relacionarse con la superposición de las dos rupturas.

3. El valor b varía entre segmentos: bajo (0,60–0,96) en el segmento occidental del Mw 7,2, alto (1,25–1,47) en el segmento oriental y bajo (0,68–0,78) costa afuera al este del Mw 7,5. Los dos grupos están separados por la brecha sísmica de 68,4°–67,7° O.

4. Las reactivaciones del 20 de julio (Mw 4,3), del 2 de agosto (Mw 4,2) y del 18 de agosto (Mw 4,0) son compatibles con réplicas conductoras que dispararon secuencias transitorias en cascada.

5. El Mw 7,2 dejó el hipocentro del Mw 7,5 en una zona de carga estática del orden del umbral de disparo; el intervalo de 32 s entre ambas nucleaciones apunta al disparo dinámico, que queda como hipótesis abierta. La brecha de réplicas coincide con una sombra de esfuerzo de Coulomb de las dos rupturas adyacentes; este resultado no distingue entre una barrera con deslizamiento asísmico y una bloqueada, y la sombra implica sismicidad retardada, no ausencia de peligro.

6. En Caracas, los trabajos de la Microzonificación Sísmica y sus espectros de respuesta en superficie pueden servir de base para reforzar las edificaciones dañadas. Se recomienda implementar las ordenanzas municipales de Chacao y Baruta según la norma COVENIN 1756 y actualizar la microzonificación con énfasis en la velocidad de ondas de corte (Vs30) en las zonas con daño.

7. En La Guaira, la reconstrucción requiere un estudio de microzonificación sísmica (Figura 29) que considere las variaciones bruscas del subsuelo entre quebradas y los efectos de las cuencas abiertas al mar y de la topografía; sus resultados deben implementarse en una ordenanza municipal y en una gestión integral del riesgo.

8. Para una mejor localización de las réplicas respecto a las fallas activas de la región se recomienda proceder con el análisis de relocalización de los eventos para los cuales se cuenta con instrumentación para el registro de réplicas por parte del GFZ-Potsdam y del grupo IASPEI RI2SE.

Referencias

Abrahamson, N. (2000) Effects of rupture directivity on probabilistic seismic hazard analysis. 6th int. conference on seismic zonation, 2000, Palm Springs, California.

AFPS (1990) Recommendations of the French Association for Earthquake Engineering for the redaction of rules relative to structures and installations built in regions prone to earthquakes. Association Française du Génie Parasismique. France: Saint-Rémy-lès-Chevreuse.

Aki, K. (1965) Maximum likelihood estimate of b in the formula logN = a−bM and its confidence limits. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 43, 237–239.

Allen, T., Wald, D. (2009) On the Use of High-Resolution Topographic Data as a Proxy for Seismic Site Conditions (VS30). Bulletin of the Seismological Society of America, 99(2A), 935–943.

Alvarado, L. (2026) Resumen sismológico de los eventos de junio de 2026 en la zona nor-central de Venezuela. Inédito, julio de 2026.

Ambrosio, R. (2001) Modelaje Gravimétrico del basamento de los conos aluviales de La Guaira, Macuto y Caraballeda, Estado Vargas. Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

Anderson-Merritt, E.O., Cooke, M.L., Scharer, K. (2026) Stress states on the eve of past earthquakes inform earthquake rupture through fault complexity along the San Andreas and San Jacinto faults. Bulletin of the Seismological Society of America, 116(3), 1125–1144. https://doi.org/10.1785/0120250173.

Ascanio Paz, W., González, J., Rendón, M. (2026) Análisis de los acelerogramas del doble sismo ocurrido el 24 de junio de 2026, de magnitudes 7,2 y 7,5 (Informe Técnico N.º FUN-

012, 2026). Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis).

Audemard, F.A., Machette, M.N., Cox, J.W., Dart, R.L., Haller, K.M. (2000) Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. US Geological Survey, Open-file report 00- 018, 72 pp. + mapa.

Bosch, M., Rodríguez, I. (1992) North Venezuelan collisional crustal block: the boundary between the Caribbean and South American plates. Journal of South American Earth Sciences, 6, 133–143.

Briceño, F., et al. (1978) Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas el 29 de julio de 1967. Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo. Caracas: Ministerio de Obras Públicas, FUNVISIS, 1281 pp.

Bustos, J., Girmay, N., Bravo-Haro, M., Rojas, R., Montemayor, D., Heresi, P., Miranda, E., Pinto, F., Montalva, G., Bastías, N., Ojeda, J., Paz, F., Villena, F., Villegas, A. (2026) Ground motion intensity in Caraballeda during the Mw 7.5 June 24, 2026, Venezuela earthquake estimated from CCTV video. The Seismic Record, accepted.

Contreras, R., Alvarado, L., Mocquet, A., Schmitz, M. (2026a) Distribución espaciotemporal de las fuentes sísmicas del terremoto de La Guaira del 24 de junio de 2026; manuscrito en preparación.

Contreras, R., Alvarado, L., Schmitz, M., Mocquet, A. (2026b) El papel relativo del campo cercano (M 7,5) y la directividad (M 7,2) en el daño del litoral central (Catia La Mar y Caraballeda) durante el evento complejo de La Guaira (2026); manuscrito en preparación.

Correig, A.M., Urquizú, M., Vila, J. (1997) Aftershock series of event February 18, 1996: An interpretation in terms of self-organized criticality. Journal of Geophysical Research, 102(B12), 27407–27420.

COVENIN 1756 (2001) Norma venezolana COVENIN 1756-1:2001, Edificaciones sismorresistentes. Parte 1: Articulado (1ra. Revisión), Comisión Venezolana de Normas Industriales, FONDONORMA, FUNVISIS, Caracas, http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1756-01.pdf .

COVENIN 1756 (2019) Norma venezolana COVENIN 1756-1:2019, Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos (2da. Revisión), Comisión Venezolana de Normas Industriales, FODENORCA, Caracas, http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1756-1-2019.pdf.

Cragno, A., Romero, M. (2001) Evaluación geofísica integral de los conos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geofísica, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 316 pp.

Delavaud, É. (2007) Simulation numérique de la propagation d'ondes en milieux géologiques complexes: application à l'évaluation de la réponse sismique du bassin de Caracas. PhD thesis. France: IPGP, 155 pp.

Departamento de Hidrometeorología UCV (2026) Boletín de Precipitación de la Estación UCV de junio de 2026, https://hidromet-ucv.org/wp-content/uploads/2026/07/Lluvia-UCV-al-30-06-26.pdf.

Dewey, J.F., Pindell, J.L. (1985) Neogene block tectonics of eastern Turkey and northern South America: continental applications of the finite difference method. Tectonics, 4(1), 71–83. https://doi.org/10.1029/TC004i001p00071.

Feliziani, P., Piscitelli, G., Castillo, A. (2004) Sistema de Información Geográfica aplicado al subsuelo del Área Metropolitana de Caracas – Proyecto SIGAMC. XVIII Seminario de Geotecnia, Caracas, 2004, en CD.

Freed, A.M. (2005) Earthquake triggering by static, dynamic, and postseismic stress transfer. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 335–367.

FUNVISIS (2026) Terremoto del 24 de junio. Revista del Observatorio Sismológico, 1a edición, Volumen especial, Fundacion Venezolana de Investigaciones Sismologias, 20260924, ISBN: 978-980-8211-00-9.

García, L. (2023) Determinación de microzonas sísmicas de La Guaira, basada en Vs30, estudios gravimétricos y espesores sedimentarios. TEG, USB, 132pp.

García, L., Rondón, F., Crasto, N., Schmitz, M. (2023) Microzonas sísmicas preliminares del estado La Guaira, en base a evaluación de Vs30, estudios gravimétricos y espesor de sedimentos. II Congreso Venezolano de Geociencias, Caracas, 2pp.

Grases, J., Altez, R., Lugo, M. (1999) Catálogo de sismos sentidos o destructores, Venezuela, 1530-1998. Acad. Cienc. Fis. Mat. y Nat. y UCV-FI, Ed. Innovación Tecnológica, FI-UCV, 654pp.

Guédez, R., Schmitz, M., Cavada, J., Sánchez, J. (2003) Determinación del espesor cortical y velocidades sísmicas en el área centro-norte de Venezuela. VII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Barquisimeto, 2003, 10 pp (CD-format).

Hackley, P., Urbani, F., Karlsen, A.W., Garrity, C.P. (2006) Geologic shaded relief map of Venezuela. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2005-1038. https://pubs.usgs.gov/of/2005/1038/index.html.

Harris, R.A. (1998) Introduction to special section: Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard. Journal of Geophysical Research, 103(B10), 24347–24358.

Hernández, J.J. (2009a) Revisión de la sismicidad y modelo sismogénico para actualización de las evaluaciones de amenaza sísmica en la región norcentral de Venezuela. IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Caracas, en CD, 15 pp.

Hernández, J.J. (2009b) Confiabilidad sísmica-estructural de edificaciones existentes de Caracas. Proyecto Pensar en Venezuela, C.I.V., Jornadas 18 y 19 de septiembre de 2009,107 pp.

Hernández, J.J., Schmitz, M. (2009) Evaluación actualizada de amenaza sísmica para la microzonificación de Caracas. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, en CD, 4 pp.

Hernández, J.J., Schmitz, M. (2023) Amenaza sísmica con efectos de sitio y análisis de recurrencia de intensidades para Caracas. Revista de Ingeniería Sísmica, 110, 45–85. https://doi.org/10.18867/ris.110.613

Hernández, J.J., Valleé, M., Feliziani, P., Schmitz, M., Oropeza, J., Tagliaferro, M., Castillo, A., Cano, V. (2008) Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. 50

Aniversario de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG), 6 al 9 de noviembre 2008, Caracas, 14 pp.

Hernández, J.J., Schmitz, M., Delavaud, É., Cadet, H., Domínguez, J. (2011) Espectros de respuesta sísmica en microzonas de Caracas incluyendo efectos de sitio 1D, 2D Y 3D. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 26(2), 49–66.

Kantak, P., Schmitz, M., Audemard, F. (2005) Sediment thickness and a west-east geologic cross section in the Caracas Valley. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV, 20(4), 43–56.

King, G.C.P., Stein, R.S., Lin, J. (1994) Static stress changes and the triggering of earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(3), 935–953.

Levander, A., Bezada, M.J., Niu, F., Humphreys, E.D., Palomeras, I., Thurner, S.M., Masy, J., Schmitz, M., Gallart, J., Carbonell, R., Miller, M.S. (2014) Subduction-driven recycling of continental margin lithosphere. Nature, 515, 253–256. https://doi.org/10.1038/nature13878.

Magnani, M.B., Zelt, C.A., Levander, A., Schmitz, M. (2009) Crustal structure of the South American–Caribbean plate boundary at 67°W from controlled source seismic data. Journal of Geophysical Research, 114, B02312. https://doi.org/10.1029/2008JB005817.

Masy, J., Niu, F., Levander, A., Schmitz, M. (2015) Lithospheric expression of Cenozoic subduction, Mesozoic rifting and the Precambrian Shield in Venezuela. Earth and Planetary Science Letters, 410, 12–24. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.08.041.

Molnar, P., Sykes, L.R. (1969) Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. Geological Society of America Bulletin, 80(9), 1639–1684. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1969)80[1639:TOTCAM]2.0.CO;2.

Moreno, Y., Correig, A.M., Gómez, J.B., Pacheco, A.F. (2001) A model for complex aftershocks sequences. Journal of Geophysical Research, 106(B4), 6609–6619.

Murphy, V., Linehan, D., Turcotte, T. (1969) Seismic investigations, Valley of Caracas and the Litoral Central. Weston, Massachusetts (under Planning and Supervision of the Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo): Weston Geophysical Engineers International, Inc., 22pp.

Niu, F., Bravo, T., Pavlis, G., Vernon, F., Rendón, H., Bezada, M., Levander, A. (2007) Receiver function study of the crustal structure of the southeastern Caribbean plate boundary and Venezuela. Journal of Geophysical Research, 112, B11308.

Okada, Y. (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, 82(2), 1018–1040. https://doi.org/10.1785/BSSA0820021018

Orihuela, N., Ruiz, F. (1990) Modelaje gravimétrico en un perfil comprendido entre los poblados de Altagracia de Orituco, Edo. Guárico y Caraballeda, Distrito Federal, Venezuela. Soc. Ven. Geol., V Cong. Venezolano de Geofísica, 466–473.

Papageorgiou, A.S., Kim, J. (1991) Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. Bulletin of the Seismological Society of America, 81(6), 2214–2233. https://doi.org/10.1785/BSSA0810062214.

Pérez, O.M., Wesnousky, S.G., De La Rosa, R., Márquez, J., Uzcátegui, R., Quintero, C., Liberal, L., Mora-Páez, H., Szeliga, W. (2018) On the interaction of the North Andes plate with the Caribbean and South American plates in northwestern South America from GPS geodesy and seismic data. *Geophysical Journal International, 214(3), 1986–2001. https://doi.org/10.1093/gji/ggy230*

Pinto et al. (2026) Geotechnical Aspects of the June 24, 2026, Catia La Mar, Venezuela Earthquake: Observation from the ground, en preparación.

Riquelme, S., Crempien, J., Koch, P., Bravo, F., Benavente, R., Toledo, P., Rocabado, V., Schmitz, M., Alvarado, R., López, R., Barrientos, S. (2026) The 24 June 2026 Venezuela earthquake sequence: A multi-fault 7.6 supershear rupture on the Boconó and San Sebastián faults constrained by near and far field observations. The Seismic Record, TSR-D-26-00036, under review.

Rocabado, V., Schmitz, M., Rendón, H., Vilotte, J.-P., Audemard, F., Sobiesiak, M., Ampuero, J.-P., Alvarado, L. (2006) Modelado numérico de la respuesta sísmica 2D del valle de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., 21(4), 81–93.

Romero, M., Cragno, A., Ambrosio, R., Schmitz, M., González, J. (2006) Evaluación geofísica de los conos aluviales en Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, edo. Vargas. Boletín del IMME, 44(1), 16–29.

Sánchez, J., Schmitz, M., Cano, V. (2005) Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas. Boletín Técnico del IMME, 43(2), 49–67.

Schmitz, M., Malavé, G., LaCruz, A., Cavada, J., Orihuela, N., Audemard, F., Kantak, P., Diaz, M. (2000) Determinación de la geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas con métodos geofísicos y geológicos. X Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, CD, 8 pp.

Schmitz, M., Avila, J., Bezada, M., Vieira, E., Yánez, M., Levander, A., Zelt, C.A., Jácome, M.I., Magnani, M.B. and the BOLIVAR active seismic working group (2008) Crustal thickness variations in Venezuela from deep seismic observations. Tectonophysics, 459, 14–26. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.072.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Morales, C., Domínguez, J., Rocabado, V., Valleé, M., Tagliaferro, M., Delavaud, É., Singer, A., Amarís, E., Molina, D., González, M., Leal, V. y el grupo de trabajo del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas (2011) Principales resultados y recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica en Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 26(2), 113–127.

Schmitz, M., Levander, A., Niu, F., Bezada, M.J., Quinteros, C., Zelt, C.A., Ávila, J. y el grupo de trabajo de sísmica activa del proyecto BOLIVAR (2014) Características geofísicas de la corteza a lo largo del límite de placas. Contribución a: El Límite Noreste de la Placa Sudamericana - estructuras litosféricas de la superficie al manto, Editores: M. Schmitz, F. Audemard, F. Urbani, Comité Editor Libros y Monografías, Fac. Ing. UCV, Capítulo 1, p 3-27.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Rocabado, V., Domínguez, J., Morales, C., Valleé†, M., García, K., Sánchez, J., Singer, A., Oropeza, J., Coronel, G., Flores, A. and the Caracas Seismic Microzoning Project Working Group (2020) The Caracas, Venezuela, seismic microzoning project: methodology, results and implementation for seismic risk reduction. Progress in Disaster Science, 5, 100060. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100060.

Schmitz, M., Ramírez, K., Mazuera, F., Ávila, J., Yegres, L., Bezada, M., Levander, A. and the active seismic working group of the GIAME project (2021) Moho depth map of northern Venezuela based on wide-angle seismic studies. Journal of South American Earth Sciences, 107, 103088. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103088.

Schnabel, P., Lysmer, J., Seed, H. (1972) SHAKE - a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, earthquake engineering research center, report no. UCB/EERC-72/12 Berkeley: University of California.

Scholz, C.H. (1968) The Frequency-Magnitude Relation of Micro-Fracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 399–415.

Schorlemmer, D., Wiemer, S., Wyss, M. (2005) Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes. Nature, 437, 539–542. https://doi.org/10.1038/nature04094.

Seed, H.B., Idriss, I.M., Dezfulian, H. (1970) Relationships between soil conditions and building damage in the Caracas earthquake of July 29, 1967, UCB/EERC-70/02, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 40 pp.

Semblat, J.F., Duval, A.M., Dangla, P. (2002) Seismic site effects in a deep alluvial basin: numerical analysis by the boundary element method. Computers and Geotechnics, 29, 573–585.

Shcherbakov, R., Turcotte, D.L. (2004) A Modified Form of Bath's Law. Bulletin of the Seismological Society of America, 94(5), 1968–1975.

Stein, R.S. (1999) The role of stress transfer in earthquake occurrence. Nature, 402, 605–609.

Stephan, J.F. (1985) Andes et Chaine sur la Transversale de Barquisimeto (Venezuela). In: Mascle, A. (Ed.), Evolución geodynamique. Symposium geodynamique des Caraibes, pp. 503–529. Paris.

Suárez, G., Nábělek, J. (1990) The 1967 Caracas earthquake: fault geometry, direction of rupture propagation, and seismotectonic implications. Journal of Geophysical Research, 95(B11), 17459–17474.

Thomson, W. [Lord Kelvin] (1848) Note on the integration of the equations of equilibrium of an elastic solid. Cambridge and Dublin Mathematical Journal, 3, 87–89.

USGS (2026) M 7.5 – near coast of Venezuela, 2026-06-24 22:05:03 UTC (us6000t7zp): Did You Feel It? Community Internet Intensity Map. U.S. Geological Survey, Earthquake Hazards Program. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/dyfi (consultado: 20260918).

Utsu, T. (1961) A statistical study on the occurrence of aftershocks. Geophysical Magazine, 30, 521–605.

Utsu, T. (1966) A statistical significance test of the difference in b-value between two earthquake groups. Journal of Physics of the Earth, 14(2), 37–40. https://doi.org/10.4294/jpe1952.14.37

Utsu, T., Ogata, Y., Matsu'ura, R.S. (1995) The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity. Journal of Physics of the Earth, 43(1), 1–33. https://doi.org/10.4294/jpe1952.43.1.

van der Hilst, R., Mann, P. (1994) Tectonic implications of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. Geology, 22, 451–454.

Wells, D.L., Coppersmith, K.J. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(4), 974–1002. https://doi.org/10.1785/BSSA0840040974.

Wiemer, S., Wyss, M. (1997) Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: an improved technique to calculate recurrence times? Journal of Geophysical Research, 102(B7), 15115–15128. https://doi.org/10.1029/97JB00726.

Wiemer, S., Wyss, M. (2002) Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes. Advances in Geophysics, 45, 259–302. https://doi.org/10.1016/S0065-2687(02)80007-3.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/175
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 204 – 219

EL SISMO DEL 24 DE JUNIO DE 2026 EN VENEZUELA: ANÁLISIS PRELIMINAR DE DAÑOS EN EDIFICACIONES EN CARACAS Y LA GUAIRA, Y LECCIONES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO

Marianela LAFUENTE[1]

RESUMEN

El sismo del 24 de junio de 2026 produjo daños de magnitud excepcional en Venezuela, con una concentración particularmente severa en La Guaira y afectaciones importantes en Caracas. Este trabajo organiza la información oficial disponible, referencias técnicas y un registro fotográfico de campo para responder una pregunta central: ¿por qué fueron tan extensos y severos los daños? La evidencia se interpreta a partir de seis dimensiones interrelacionadas: la demanda sísmica asociada a un doblete de gran magnitud y a efectos de campo cercano; la amplificación por condiciones locales de sitio; licuación en franjas costeras; las vulnerabilidades estructurales acumuladas en edificaciones antiguas y recientes; la incidencia de elementos no estructurales y modificaciones posteriores a la construcción; y las debilidades de la gestión institucional del riesgo. Se documentan mecanismos de daño compatibles con piso blando, columna corta, deficiencias de confinamiento, corrosión, interacción de mampostería de relleno, licuación y desplazamiento lateral del terreno. El análisis es preliminar y no sustituye evaluaciones forenses. La ausencia de registros acelerográficos locales y de bases de datos detalladas sobre tipologías, antigüedad, sistemas estructurales y niveles de daño limita la atribución causal definitiva. Se propone una investigación específica para reconstruir aspectos del movimiento mediante modelación, registros regionales y evidencia de video técnicamente utilizable, así como la elaboración de un modelo integral de exposición para La Guaira que sustente mapas de vulnerabilidad y riesgo. Finalmente, se plantea una agenda de investigación y rehabilitación basada en preservación de evidencia, estudios de materiales y suelos, microzonificación, evaluación de vulnerabilidad y fortalecimiento de la gestión integral del riesgo.

ABSTRACT

The June 24, 2026 earthquake in Venezuela: preliminary assessment of building damage in Caracas and La Guaira, and lessons for risk management

The June 24, 2026 earthquake caused exceptionally severe damage in Venezuela, with a particularly high concentration of losses in La Guaira and significant impacts in Caracas. This paper organizes available official information, technical references, and photographic field evidence to address a central question: why was the damage so extensive and severe? The evidence is interpreted through six interrelated dimensions: seismic demand associated with a large doublet and near-fault effects; site amplification effects; liquefaction in coastal areas; accumulated structural vulnerability in both old and recent buildings; the role of nonstructural components and post-construction modifications; and institutional weaknesses in disaster-risk management. Observed damage patterns include mechanisms compatible with soft stories, short columns, deficient confinement, corrosion, masonry-infill interaction, liquefaction, and lateral spreading. The assessment is preliminary and does not replace forensic investigations. The absence of local accelerographic records and detailed databases on building typologies, age, structural systems, and damage levels limits definitive causal attribution. A dedicated investigation is proposed to reconstruct aspects of the ground motion using modeling, regional records, and technically usable video evidence, together with a comprehensive exposure model for La Guaira to support vulnerability and risk mapping. The paper concludes with a proposed agenda for forensic research and reconstruction centered on evidence preservation, material and soil investigations, seismic microzonation, vulnerability assessment, and stronger risk governance.

Palabras clave: Sismo; vulnerabilidad sísmica; La Guaira; Caracas; licuación; mampostería; gestión del riesgo; reconstrucción.
Keywords: Earthquake; seismic vulnerability; La Guaira; Caracas; liquefaction; masonry; risk management; reconstruction.

[1] Individuo de Número de la ANIH (sillón XXV). Profesor titular, Facultad de Ingeniería, UCV

1. Introducción

La pregunta central de este artículo es directa: ¿por qué tantos daños?, ¿qué explica la severidad del impacto del sismo del 24 de junio de 2026? Una respuesta técnicamente útil no puede reducirse a una sola causa. El patrón observado obliga a examinar de manera conjunta la intensidad y características del movimiento, las condiciones locales del suelo, la vulnerabilidad del parque construido y la capacidad institucional para anticipar, evaluar y gestionar el riesgo.

Este documento reúne cifras oficiales, referencias técnicas y observaciones de campo realizadas en Caracas y en el Litoral Central. En ausencia de información completa sobre acelerogramas, expedientes de proyecto, propiedades de materiales, estudios geotécnicos y modificaciones posteriores a la construcción, las causas específicas de cada falla deben considerarse hipótesis de trabajo. El valor del análisis reside en identificar patrones, vacíos de información y preguntas prioritarias para la investigación posterior.

Las cifras de colapsos totales citadas para finales de junio no han sido actualizadas en el momento en que se presenta este artículo. Tampoco se dispone de una clasificación pública completa por altura, uso, antigüedad, sistema estructural, tipo de ocupación o nivel de daño de las edificaciones afectadas. Estas limitaciones deben permanecer explícitas porque condicionan cualquier comparación entre sectores, épocas constructivas o programas de vivienda.

Al cierre de este artículo no se dispone de registros acelerográficos instrumentales del evento obtenidos dentro del territorio venezolano. Bernal y Cardona (2026) señalan expresamente esta ausencia y, por ello, su evaluación de la demanda en Catia La Mar, La Guaira y Caraballeda se basa en señales sintéticas derivadas de modelación física. Esta limitación impide reconstruir de manera directa la historia temporal local del movimiento y debe permanecer explícita en cualquier interpretación de los daños.

2. Magnitud del impacto y calidad de la información disponible

El sismo del 24 de junio produjo daños sin precedentes en la Venezuela contemporánea. Un boletín oficial del Plan Venezuela Renace del 24 de agosto de 2026, difundido por el jefe del Estado Mayor para los Campamentos Transitorios y Viviendas por redes sociales, registró 6.509 fallecidos y 60.785 inmuebles residenciales inspeccionados. De estos, 35.545 fueron clasificados como habitables, 14.239 con acceso restringido y 11.001 en alto riesgo. El mismo boletín reportó 600.790,70 toneladas de escombros removidos, equivalentes al 28,61 % del total proyectado (Últimas Noticias, 2026). Ver tabla 1.

Tabla 1. *Balance del Plan Venezuela Renace citado para el 24 de agosto de 2026*

Indicador	Valor reportado
Fallecidos	6.509
Viviendas inspeccionadas	60.785
Habitables	35.545
Acceso restringido	14.239
Alto riesgo	11.001
Escombros removidos	600.790,70 toneladas, equivalentes al 28,61 % del total proyectado

En un balance gubernamental previo presentado el 30 de junio de 2026 se informó que 189 edificaciones habían colapsado totalmente, 158 de ellas en La Guaira (Ciudad CCS, 2026). Este total de colapsos no ha sido actualizado públicamente en las fuentes revisadas en este artículo, ni se dispone de una clasificación detallada por altura, uso, antigüedad, sistema estructural o tipología. La misma escasez de información afecta a las estructuras de acceso restringido y alto riesgo.

Las inspecciones y visitas particulares realizadas por iniciativa propia sugieren que buena parte de los colapsos totales correspondió a edificios de mediana altura, aproximadamente entre 4 y 15 pisos. También se observaron colapsos parciales y fallas severas en estructuras de una y dos plantas. Esta evidencia visual confirma la diversidad de tipologías afectadas y refuerza la necesidad de una base de datos de daños con criterios uniformes.



Figura 1. *Colapso de la sede de Bancaribe en Caracas. La estructura era una remodelación ejecutada sobre una vivienda antigua de la década de 1950, en Los Palos Grandes.*

3. Demanda sísmica, campo cercano y condiciones de sitio

El evento ocurrido el 24 de junio de 2026 se ha caracterizado como un doblete sísmico, con dos rupturas principales separadas por aproximadamente 38 segundos. El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) reportó magnitudes de momento Mw 7,2 y Mw 7,5, con profundidades de 20,3 km y 10,0 km, respectivamente (USGS, 2026). Como antecedente histórico de rupturas sísmicas múltiples en Venezuela se cita el terremoto de 1812 (Altez, 2005).

Ante la ausencia de registros acelerográficos instrumentales locales, Bernal y Cardona (2026) desarrollaron una modelación del movimiento fuerte para el segundo evento del doblete y generaron acelerogramas sintéticos en Catia La Mar, La Guaira y Caraballeda. Las simulaciones muestran pulsos de velocidad asociados a directividad, demandas elevadas en periodos intermedios y largos y amplificación local en depósitos aluviales. Estos resultados son una reconstrucción modelada, no una medición directa, y deben considerarse con esa limitación al compararlos con las distintas generaciones de la norma sismorresistente venezolana (COVENIN, 2001; COVENIN, 2019).

3.1. Efectos de campo cercano y directividad

La proximidad del Litoral Central a la fuente sísmica constituye un elemento central del análisis. La traza de la falla se hizo visible en las pistas del aeropuerto de Maiquetía y señala la posible presencia de pulsos de velocidad y efectos de directividad. Este tipo de movimiento puede concentrar demanda en intervalos de tiempo reducidos y afectar especialmente estructuras cuyos periodos se aproximan al contenido dominante del movimiento; Baker (2007) presenta un procedimiento ampliamente citado para identificar y caracterizar pulsos de velocidad en movimientos cercanos a falla.

Debe subrayarse que la cuantificación de estos efectos requeriría registros instrumentales locales, que no están disponibles para este evento. Por tanto, la hipótesis de campo cercano y directividad no puede verificarse directamente mediante acelerogramas de La Guaira. Su evaluación debe apoyarse en modelos de ruptura, registros regionales y reconstrucciones independientes, con incertidumbres explícitas, como la modelación mediante señales sintéticas desarrollada por Bernal y Cardona (2026).

3.2. Efectos de sitio, licuación y desplazamiento lateral

Las condiciones locales del suelo aparecen como un segundo componente decisivo. Estudios geofísicos previos reportan profundidades máximas del basamento del orden de 180 m en Punta de Mulatos, La Guaira, cerca de 290 m en el cono El Cojo, Macuto, y hasta 450 m en la costa de Caraballeda; además, los periodos fundamentales de vibración del suelo en los conos aluviales se ubican generalmente entre 0,9 y 1,8 s (Romero et al., 2006; Schmitz, 2026). En estas zonas los efectos de sitio pueden amplificar y prolongar el movimiento, con especial relevancia para edificios de mediana altura. Estas observaciones pueden vincularse con los antecedentes clásicos sobre la influencia de las condiciones de suelo en la distribución del daño durante el sismo de Caracas de 1967 (Seed et al., 1972).

En el Litoral, la presencia de suelos sueltos, arenas saturadas y niveles freáticos altos incrementó la susceptibilidad a licuación y desplazamiento lateral del terreno. Las figuras 2 a 7 muestran grietas, deformaciones, pérdida de soporte y expulsión de arena en el rompeolas y muelle de la Guardia Costera, la marina de Playa Grande, las canchas del Club Playa Grande y sectores de Macuto.

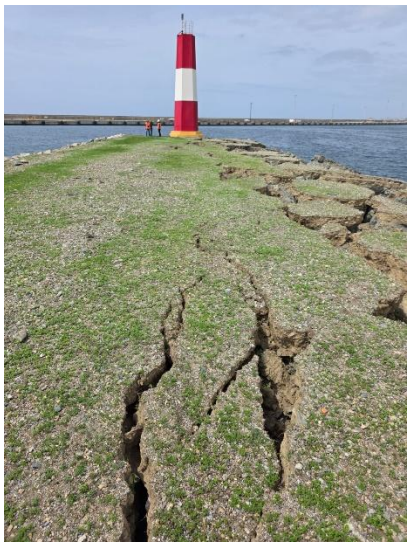


Figura 2. *Rompeolas de la Guardia Costera en La Guaira. Grietas asociadas al desplazamiento lateral del terreno (lateral spread).*



Figura 3. *Falla de apoyos del muelle de la Guardia Costera asociada al empuje y desplazamiento del terreno.*

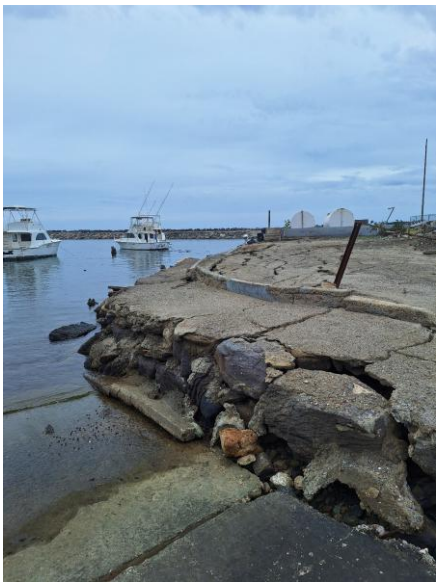


Figura 4. *Fallas del terreno y de la infraestructura en la marina de Playa Grande.*



Figura 5. *Evidencias de licuación en las canchas de tenis del Club Playa Grande.*



Figura 6. *Evidencias de licuación y expulsión de arena en Playa Grande.*



Figura 7. *Licuación y deformación del terreno observadas en Macuto.*

3.3. Microzonificación y regulación urbana

El contraste entre Caracas y La Guaira es relevante. Caracas cuenta con estudios de microzonificación sísmica publicados y adoptados oficialmente por algunas municipalidades, mientras que La Guaira no dispone de ordenanzas vinculantes equivalentes, pese a la existencia de estudios avanzados (Ver Hernández et al. (2006): proyecto de microzonificación de Caracas). Para el Litoral, el problema no es únicamente disponer de estudios, sino convertirlos en instrumentos vinculantes de planificación, diseño, evaluación de proyectos y control urbano.

La evidencia geotécnica observada después del sismo refuerza la necesidad de combinar microzonificación sísmica con zonificación de susceptibilidad a licuación, deformación lateral e inestabilidad de terrenos. Esta integración es particularmente importante en áreas costeras, rellenos y abanicos aluviales.

Tabla 2. *Lectura integrada de los principales factores que pueden explicar la severidad del daño*

Factor	Evidencia	Mecanismo plausible	Implicación principal
Demanda sísmica	Doblete, magnitudes elevadas, proximidad a la falla	Altas demandas de aceleración, velocidad y desplazamiento	Reconstruir la demanda y comparar con espectros normativos
Efectos de sitio	Cuencas sedimentarias profundas, topografía	Amplificación y prolongación del movimiento	Microzonificación y diseño dependiente del sitio
Licuación	Conos de arena, grietas y deformación costera	Pérdida de resistencia y desplazamiento lateral	Evaluación geotécnica de rellenos y suelos saturados
Vulnerabilidad estructural	Piso blando, columna corta, confinamiento deficiente, corrosión	Mecanismos frágiles y concentración de deriva	Estudios forenses y programas de reforzamiento
Elementos no estructurales	Caída de mampostería, fachadas, tanques y fallas de servicio	Víctimas, pérdida de habitabilidad y funcionalidad	Normas y control de componentes no estructurales
Gestión del riesgo	Información incompleta, coordinación limitada	Dificultad para evaluar, priorizar y reconstruir	Sistema de datos, coordinación y planificación territorial

4. Vulnerabilidades estructurales y mecanismos de daño

La demanda sísmica explica la intensidad de la solicitación, pero no explica por sí sola la distribución del daño. Las observaciones reunidas muestran vulnerabilidades acumuladas durante décadas: edificaciones anteriores a normas modernas, materiales de calidad variable, corrosión del acero en ambientes costeros y urbanos, columnas cortas, discontinuidades de rigidez, interacción no prevista de tabiquería y estructuras emplazadas sobre rellenos o suelos susceptibles a deformación.

4.1. Columna corta, piso blando y concentración de daño

Entre los mecanismos recurrentes se describen plantas bajas abiertas destinadas a estacionamientos o comercios, fallas por cortante, deficiencias de acero transversal, concretos de baja resistencia y ausencia de confinamiento. El Hospital Rísquez, ubicado en San Bernardino, en Caracas, ofrece un ejemplo visual particularmente claro: las figuras 8, 14 y 15 muestran daños severos concentrados en el primer nivel y en zonas con configuración compatible con columna corta. Este mecanismo reduce la longitud deformable del elemento y puede incrementar de manera importante la demanda de cortante.



Figura 8. *Colapso del primer piso de un módulo del Hospital Rísquez, San Bernardino, Caracas. Obsérvese el efecto de columna corta provocado por las paredes de media altura bajo las ventanas.*

4.2. Estructuras patrimoniales y mampostería antigua

Las estructuras patrimoniales de mampostería constituyen un grupo de especial preocupación. La Escuela de Música de Macuto presenta daños y colapsos parciales que evidencian la vulnerabilidad de edificaciones antiguas frente a acciones laterales intensas, especialmente cuando han experimentado intervenciones acumuladas o carecen de mecanismos adecuados para transmitir fuerzas entre muros, entrepisos y cubiertas de techo. Las figuras 9 a 11 documentan daños en fachadas, volúmenes y la zona de la escalera central.



Figura 9. *Colapso de la Escuela de Música de Macuto, estructura patrimonial de mampostería.*



Figura 10. *Daños y colapso parcial en la Escuela de Música de Macuto.*



Figura 11. *Escuela de Música de Macuto. Daños en la zona de la escalera central.*

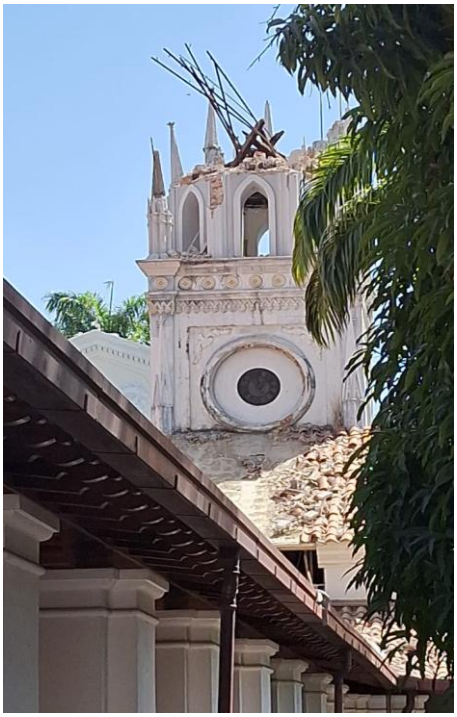


Figura 12. *Palacio de las Academias, Caracas. Daño en la cubierta ocasionado por el desprendimiento de un elemento masivo de la torre. También se reportaron daños en arcos y paredes de distintas salas.*



Figura 13. *Palacio de las Academias, Caracas. Desplazamiento de un busto en el primer piso como consecuencia del movimiento sísmico. El movimiento muestra una componente dominante en dirección aproximada norte-sur.*

El Palacio de las Academias, en Caracas, ofrece un segundo ejemplo de vulnerabilidad del patrimonio histórico. La figura 12 documenta el daño en la cubierta producido por el desprendimiento de un elemento masivo de la torre, además de daños reportados en arcos y paredes de distintas salas. La figura 13 muestra el desplazamiento de una pieza escultórica en el primer piso. Estas observaciones amplían el análisis más allá del daño estructural y subrayan la necesidad de evaluar, en edificaciones patrimoniales, tanto la estabilidad de elementos arquitectónicos y ornamentales como la protección de piezas y contenidos susceptibles de desplazarse o caer durante un sismo.

4.3. Detallado del concreto, corrosión y elementos añadidos

Las figuras 14 y 15 vuelven a mostrar la concentración de daño en el Hospital Rísquez. En las zonas afectadas se observaron diversos casos de patología estructural: deficiencias de confinamiento transversal, insuficiencias en las zonas de solape del refuerzo y ejemplos de corrosión preexistente del acero. La figura 18 muestra un elemento con refuerzo transversal escaso y deterioro visible, mientras que la figura 19 ilustra una configuración contraria a lo previsto en las normas de diseño: una columna "débil" conectada a una viga "fuerte". Estos indicios son relevantes, pero una atribución causal exige retirar recubrimientos de manera controlada, medir diámetros y espaciamientos, verificar longitudes de anclaje y solape, y caracterizar la resistencia de materiales.



Figura 14. *Falla por columna corta en el Hospital Rísquez, San Bernardino, Caracas.*



Figura 15. *Hospital Rísquez. Falla de un módulo con aplastamiento del primer piso, compatible con un mecanismo de columna corta.*

Los elementos no estructurales y las cargas añadidas también incidieron en el riesgo. La caída de cerramientos puede causar víctimas aun cuando el sistema principal permanezca en pie, y los tanques elevados introducen masa adicional y esfuerzos locales que deben estar adecuadamente soportados. Las figuras 16 y 17 muestran ambos problemas.

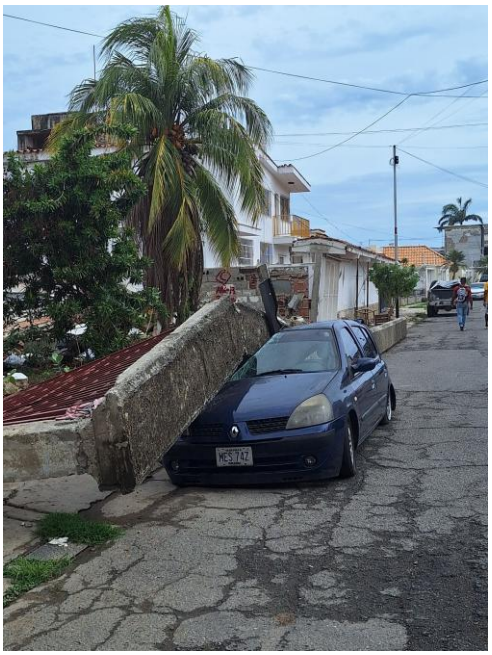


Figura 16. *Vehículo dañado por la caída de elementos no estructurales.*



Figura 17. *Fallas de tanques de agua elevados en viviendas de dos plantas.*



Figura 18. *Deficiencia de refuerzo transversal y corrosión del acero observadas en un elemento de concreto armado.*



Figura 19. *Mecanismo de viga fuerte y columna débil. Se observan deficiencias de acero transversal y zonas de solape del refuerzo longitudinal.*

4.4. Viviendas de una y dos plantas, mampostería sin confinamiento y conexiones deficientes

Las viviendas de baja altura no estuvieron exentas de fallas graves. En Colinas de la Atlántida, Catia La Mar, se registraron colapsos y pérdidas del primer nivel. Las figuras 20 y 21 muestran daños severos en viviendas de dos plantas. La figura 22 documenta una estructura de mampostería sin confinamiento, tipología susceptible a mecanismos frágiles cuando no existe una trayectoria resistente continua para las acciones horizontales.



Figura 20. *Colapso de viviendas de dos plantas en Colinas de la Atlántida, Catia La Mar.*

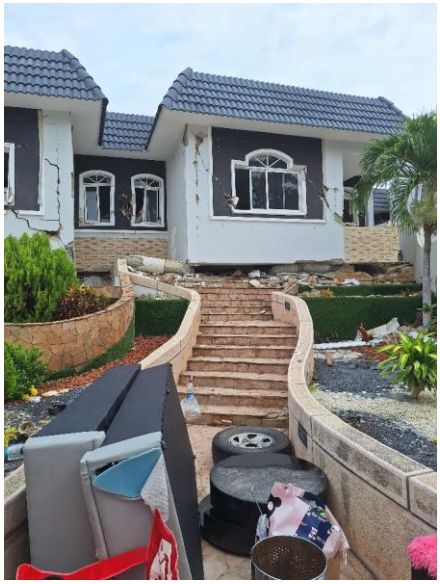


Figura 21. *Colapso del primer piso en una vivienda de Colinas de la Atlántida.*



Figura 22. *Daño severo en una estructura de mampostería sin confinamiento.*

El centro escolar y de salud de La Atlántida aporta otra dimensión del problema: edificaciones antiguas sometidas a remodelaciones sucesivas. Se identificó una construcción de la década de 1940 sin readecuación sísmica donde destaca la presencia de una losa de techo de "tabelones" y perfiles de acero, muy pesada, y simplemente apoyada, sin conexión con el sistema resistente. Las figuras 23 a 25 reúnen el daño, la evidencia histórica del conjunto y la configuración de la cubierta de techo. La relación causal entre estas condiciones y el colapso debe ser confirmada mediante una evaluación forense.



Figura 23. *Falla de un centro escolar y de salud en La Atlántida. Es una estructura de la década de 1940 con remodelaciones sucesivas y sin readecuación sísmica.*



Figura 24. *Placa histórica de la institución municipal de colonias escolares, asociada al conjunto mostrado en la figura anterior. La inscripción registra obras entre 1939 y 1940.*



Figura 25. *Falta de conexión entre una losa pesada de tabelones y la estructura del centro de atención. La configuración observada indica que la losa se desplazó y contribuyó con el mecanismo de colapso.*

5. Urbanismo Hugo Chávez Frías, Playa Grande

El Urbanismo Hugo Chávez Frías constituye un caso de estudio relevante por el número de edificaciones afectadas y por el sistema constructivo empleado. En el urbanismo se construyeron edificios de cuatro pisos con una estructura de perfiles de hierro galvanizado (Light Steel Framing: LSF). Se

observaron daños graves generalizados, con una proporción importante de colapsos. Las observaciones visuales señalan fallas concentradas en el primer piso, desplazamientos excesivos y posible inestabilidad de elementos verticales.

No es posible atribuir el desempeño observado a la tecnología LSF de manera general. Para hacerlo sería necesario estudiar en detalle los proyectos originales, cargas de diseño, especificaciones, uniones, arriostramientos, calidad de ejecución, corrosión, mantenimiento y modificaciones posteriores. Se plantean preliminarmente varias hipótesis que deben separarse: limitaciones de diseño, deficiencias de control de calidad, aplicación normativa, mantenimiento y alteraciones realizadas por los habitantes.



Figura 26. *Falla del primer piso en el Urbanismo Hugo Chávez Frías, Playa Grande.*



Figura 27. *Mampostería de bloques y pisos de cerámica añadidos por los habitantes en el Urbanismo Hugo Chávez Frías.*

Las modificaciones interiores y exteriores son especialmente relevantes porque pueden alterar masa, rigidez y trayectorias de carga. La figura 27 muestra mampostería de bloques y acabados de piso añadidos por los habitantes. La figura 28 documenta mampostería incorporada en un primer nivel que, según interpretación preliminar, pudo rigidizar localmente la planta. Este tipo de modificación puede mejorar o empeorar el desempeño dependiendo de su ubicación, continuidad, resistencia y relación con el sistema original, por lo que no debe evaluarse solo por inspección visual.



Figura 28. *Mampostería añadida en el primer piso de una vivienda. Esta modificación pudo incrementar la rigidez del nivel y alterar su respuesta.*



Figura 29. *Edificaciones del Urbanismo Hugo Chávez Frías con mecanismos de falla compatibles con piso blando en el primer nivel.*

Las figuras 30 y 31 muestran una diferencia potencialmente importante entre edificaciones: en algunas se observan riostras diagonales en el primer piso y en otras no. La comparación sistemática entre edificios con y sin arriostramiento, controlando geometría, orientación, modificaciones y nivel de daño, podría aportar evidencia valiosa sobre los mecanismos de falla. Esta comparación constituye una de las prioridades para un estudio forense del conjunto.



Figura 30. *Presencia de riostras diagonales en el primer piso de algunas edificaciones del Urbanismo Hugo Chávez Frías.*



Figura 31. *Ausencia de riostras diagonales en el primer piso de otras edificaciones del mismo urbanismo.*

6. Mampostería de relleno, elementos no estructurales y pérdida de funcionalidad

La mampostería de relleno merece una consideración específica. Aunque suele clasificarse como componente no estructural, puede modificar la rigidez y distribución de fuerzas del marco, originar columnas cortas, introducir irregularidades y fallar fuera del plano. Las inspecciones realizadas permiten señalar desprendimientos extensos, mecanismos de compresión diagonal y expulsión de paneles de mampostería en múltiples estructuras afectadas por el sismo. Además de su interacción con la estructura, el colapso de la tabiquería puede causar víctimas, bloquear rutas de evacuación y hacer inhabitable un edificio que no haya sufrido colapso global.

Las figuras 32 y 33 muestran edificios de Playa Grande y Caraballeda con daños severos en tabiquería y cerramientos, mientras la estructura principal permanece en pie. Este contraste es importante para la ingeniería de desempeño: evitar el colapso global es indispensable, pero no suficiente cuando componentes secundarios pueden provocar lesiones, pérdidas económicas y largos periodos de desocupación.

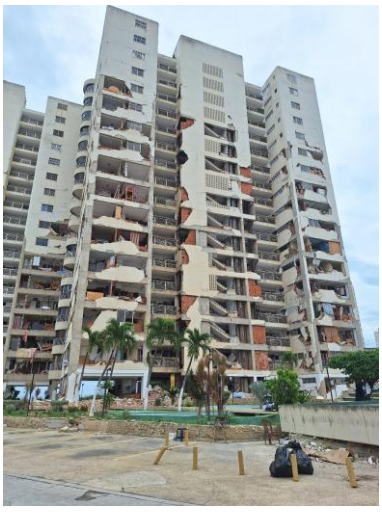


Figura 32. *Edificio en Playa Grande con daños extensos en tabiquería y elementos no estructurales, mientras la estructura principal permanece en pie.*

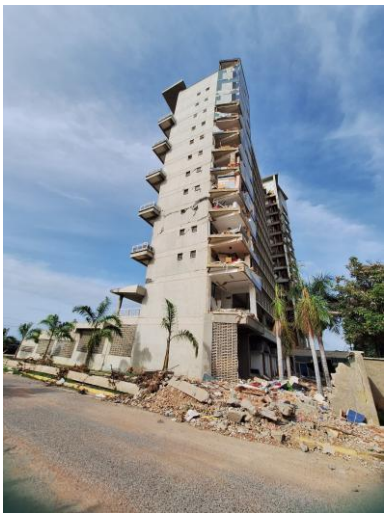


Figura 33. *Edificio Costa Bella, Caraballeda. Daños severos en tabiquería y elementos no estructurales, con permanencia en pie de la estructura principal.*

La figura 34 vuelve a mostrar deficiencias de confinamiento y zonas de solape, mientras que la figura 35 ilustra una situación extrema en la que un núcleo vertical permanece en pie después de la pérdida de la estructura circundante. En numerosos edificios inspeccionados, especialmente en Caracas, se observaron fallas de ascensores en estructuras que, por otros aspectos, conservaron un comportamiento aceptable. Esta experiencia sugiere incorporar de forma más explícita los sistemas de transporte vertical, instalaciones y componentes no estructurales en los objetivos de desempeño y recuperación funcional que contemplan las normas.



Figura 34. *Fallas asociadas al confinamiento transversal y a zonas de solape del refuerzo.*



Figura 35. *Núcleo vertical que permanece en pie tras el colapso de la estructura circundante.*

7. Capacidad de respuesta, riesgo construido y resiliencia institucional

El desastre no se agota en el desempeño de las estructuras. En la respuesta a la emergencia se hicieron evidentes fallas de coordinación, lentitud en la evaluación de daños, dificultades en la gestión de albergues y ausencia de una comunicación de riesgo suficientemente clara durante las primeras horas. La falta de información técnica oportuna incrementó la incertidumbre y dificultó la toma de decisiones de residentes afectados, autoridades y profesionales.

Posteriormente se anunciaron y pusieron en marcha varias instancias y planes oficiales. Entre las que pueden verificarse en fuentes gubernamentales, se encuentran la Comisión Presidencial para la Evaluación de la Habitabilidad de Vivienda e Infraestructura; el Estado Mayor para los Campamentos Transitorios y Viviendas; y el Plan Venezuela Renace, orientado a la recuperación de viviendas e infraestructura afectadas (MPPRE, 2026; Correo del Orinoco, 2026). Sin embargo, la creación de comisiones particulares no sustituye un sistema integral con responsabilidades claras, intercambio de datos, prioridades técnicas y mecanismos de seguimiento. La documentación necesaria sobre objetivos detallados, productos técnicos, cronogramas, datos abiertos y mecanismos de seguimiento de estas instancias no ha sido divulgada públicamente.

La respuesta gubernamental al sismo del 24 de junio puso en evidencia profundas debilidades institucionales. Es especialmente relevante la ausencia de registros sísmicos locales. Aunque hacia el año 2000 Venezuela llegó a operar entre 250 y 300 estaciones sismológicas, constituyendo una de las redes más avanzadas de América Latina, el deterioro progresivo iniciado en 2009 condujo a un colapso casi total de la infraestructura. Se sabe que hoy FUNVISIS mantiene muy pocas estaciones activas; no existe información pública actualizada sobre el número efectivo de estaciones funcionales de la red y hasta el día de hoy no se dispone de reportes oficiales locales sobre registros sísmicos del sismo del 24 de junio. La ausencia de estos registros no es un problema técnico aislado: es la manifestación de una crisis institucional profunda, que se extiende a muchas esferas de la gestión pública y que limita la capacidad del Estado para gestionar el riesgo y garantizar la seguridad de los habitantes del país.

7.1. Advertencias históricas y riesgo construido

Dos antecedentes estructuran esta discusión: el sismo de 1967, que puso en evidencia la importancia de los efectos de sitio y la necesidad de actualizar las normativas sísmicas, y el desastre de Vargas de 1999, que volvió a mostrar las consecuencias de ocupar abanicos aluviales y zonas de alta amenaza. La persistencia de exposición y vulnerabilidad después de estos eventos permite hablar de riesgo construido, entendido aquí como el resultado acumulativo de decisiones sobre localización, diseño, mantenimiento, control y ocupación.

Es relevante mencionar la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos, publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N.º 39.095 del 9 de enero de 2009 (Asamblea Nacional, 2009). La ley incorpora expresamente el concepto de riesgo construido y establece obligaciones relacionadas con la inclusión de la variable riesgo en la planificación, el monitoreo de vulnerabilidades, el cumplimiento de normas técnicas, la inspección de edificaciones, los sistemas de alerta temprana y los planes especiales de reducción del riesgo. Además, sus artículos 28 y 29 prevén una Coordinación de Reconstrucción temporal para áreas afectadas por desastres y un plan de reconstrucción con evaluación de daños, cronograma, previsiones presupuestarias, prioridades y responsabilidades institucionales. La brecha entre esta arquitectura legal y su aplicación efectiva constituye una de las lecciones institucionales que deja el sismo del 24 de junio.

8. Discusión: una explicación multicausal de la severidad del desastre

La evidencia reunida permite formular una explicación multicausal. La primera condición fue una demanda sísmica extraordinaria, posiblemente agravada por efectos de campo cercano y directividad en La Guaira. La segunda fueron los efectos de sitio en cuencas sedimentarias profundas y topografías elevadas. La tercera, zonas costeras susceptibles a licuación. La cuarta fue la existencia de un parque construido heterogéneo, con edificios antiguos, detallados insuficientes, deterioro y corrosión preexistente, irregularidades y modificaciones. La quinta fue el papel de componentes no estructurales y sistemas de servicio en la producción de víctimas y pérdida de funcionalidad. La sexta fue una capacidad institucional insuficiente para convertir información técnica, regulación y experiencias históricas en reducción sostenida del riesgo (ver tabla 2).

El sismo fue el detonante, pero la magnitud del desastre dependió de cómo esa demanda encontró un territorio y un parque construido con vulnerabilidades preexistentes. Por ello, reconstruir únicamente lo que colapsó, sin estudiar por qué falló y sin corregir las condiciones que amplificaron las consecuencias, reproduciría el riesgo.

Este artículo apunta a subrayar la importancia de evitar dos simplificaciones. La primera sería atribuir todos los daños a que el movimiento excedió la norma. Las simulaciones disponibles sugieren demandas excepcionales en ciertas bandas de periodo, pero, en ausencia de acelerogramas locales, esa comparación no puede tratarse como una medición directa. La diversidad de mecanismos de falla obliga además a examinar configuración, detallado, materiales y suelo. La segunda simplificación sería atribuir el desastre exclusivamente a mala construcción. Un evento cercano a la falla, con efectos de sitio y licuación, puede imponer exigencias excepcionales incluso a estructuras adecuadamente concebidas. Las investigaciones posteriores deberán separar y analizar ambos componentes con datos documentados y sustentados adecuadamente.

9. Agenda propuesta para la investigación forense y la rehabilitación

A partir de los vacíos identificados y de los patrones observados, se propone una agenda mínima de investigación. Esta sección es una propuesta analítica derivada de la evidencia disponible y no un resultado de estudios ya ejecutados.

- Preservar evidencia antes de demoler: documentar geometría, secuencias de falla, restos de conexiones, refuerzo, uniones y condiciones del terreno mediante fotografía, escaneo, drones y levantamientos topográficos cuando corresponda.
- Reconstruir la demanda sísmica a partir de evidencia instrumental regional y no instrumental: dado que no existen acelerogramas locales disponibles del 24 de junio en La Guaira, se requiere una investigación específica para recopilar, preservar, sincronizar, georreferenciar y calibrar videos de cámaras de seguridad, teléfonos y otras fuentes, integrándolos con registros regionales, información de la fuente sísmica, desplazamientos observables y evidencia de campo. Las técnicas recientes de identificación del movimiento a partir de respuesta estructural registrada en video ofrecen una vía metodológica prometedora, pero su aplicabilidad debe evaluarse caso por caso según la calidad, frecuencia de cuadros, estabilidad y calibración de cada registro (Zhang et al., 2026).
- Construir una base de datos de daños: clasificar cada edificio por ubicación, año, uso, número de pisos, sistema estructural, normativa aplicable, suelo, nivel de daño y mecanismo predominante.
- Construir un modelo integral de exposición para La Guaira: desarrollar un inventario georreferenciado de edificaciones y viviendas que registre, como mínimo, tipología estructural, material y sistema resistente lateral, número de pisos, año o periodo de construcción, uso y ocupación, área construida, estado de conservación, normativa de diseño y, cuando sea posible, valores de reposición y ocupación. Este modelo debe vincularse con funciones de vulnerabilidad o fragilidad y con la microzonificación sísmica para producir escenarios y mapas de vulnerabilidad y riesgo; su estructura de datos puede apoyarse en taxonomías y formatos de exposición utilizados por GEM/OpenQuake (GEM Foundation, 2026).
- Realizar estudios de materiales y detallado: extraer núcleos de concreto cuando sea técnicamente procedente, medir resistencia, identificar acero, espaciamiento de estribos, anclajes, solapes, corrosión y calidad de conexiones.
- Completar la investigación geotécnica: caracterizar rellenos, nivel freático, estratigrafía, licuación,

desplazamiento lateral y respuesta dinámica de sitio, con prioridad en el corredor costero.

- Auditar edificaciones posteriores a normas modernas: comparar el desempeño de edificios diseñados bajo distintas ediciones de COVENIN y estudiar de manera específica los conjuntos de vivienda pública con daños severos.
- Incorporar componentes no estructurales y recuperación funcional: elementos de fachadas, mampostería, tanques de agua, ascensores, redes de servicio y equipamientos esenciales deben formar parte de los objetivos de desempeño.
- Vincular reconstrucción, rehabilitación y ordenamiento territorial: la reposición de viviendas e infraestructura debe apoyarse en microzonificación, estudios de amenazas múltiples y criterios explícitos de uso del suelo.

La publicación de estos resultados es tan importante como su ejecución. Los terremotos severos son eventos poco frecuentes y constituyen oportunidades irrepetibles para aprender de la respuesta real de estructuras, suelos e instituciones. Sin documentación accesible y estudios forenses, una parte de esa información se pierde de forma definitiva con la remoción de escombros y la rehabilitación.

10. Conclusiones

El sismo del 24 de junio de 2026 no puede explicarse mediante una causa única. La información disponible apunta a la interacción entre alta demanda sísmica, posibles efectos de campo cercano, condiciones de sitio desfavorables, licuación y desplazamientos del terreno, vulnerabilidades estructurales y no estructurales, deterioro, modificaciones posteriores a la construcción y debilidades institucionales en la gestión del riesgo.

El registro fotográfico muestra mecanismos recurrentes que merecen investigación detallada: piso blando, columna corta, fallas de confinamiento y solape, corrosión, mampostería sin confinamiento, cubiertas pesadas con conexiones deficientes, daños en tabiquería, fallas de tanques y alteraciones de sistemas ligeros. Estas observaciones son evidencia de campo, no sustitutos de cálculos, ensayos o reconstrucciones forenses de cada colapso.

La principal lección técnica es que la reconstrucción y rehabilitación de las zonas afectadas debe producir conocimiento. Evaluar materiales, suelos, proyectos, modificaciones y mecanismos de falla permitirá actualizar normas, mejorar control de calidad, orientar programas de reforzamiento y definir mejores criterios de ocupación territorial. La principal lección institucional es igualmente clara: la reducción del riesgo depende de convertir estudios y leyes en capacidades operativas, información pública y decisiones sostenidas antes del próximo evento.

Una limitación crítica es la ausencia de registros acelerográficos locales del evento en La Guaira. En consecuencia, no es posible establecer de manera directa la historia temporal de aceleración ni cuantificar con la precisión deseable la demanda real que actuó sobre las edificaciones. Se recomienda desarrollar una investigación independiente orientada a reconstruir, con incertidumbres explícitas, aspectos del movimiento mediante la integración de simulaciones físicas, registros regionales y videos que puedan sincronizarse y calibrarse geométricamente.

La Guaira necesita además un modelo integral y georreferenciado de exposición que represente el parque construido, sus edificaciones, tipologías estructurales, alturas, usos, periodos de construcción, ocupación, estado de conservación y demás atributos relevantes. Vinculado con la microzonificación y con funciones de vulnerabilidad o fragilidad, ese inventario permitiría desarrollar mapas de vulnerabilidad y riesgo, estimar pérdidas para distintos escenarios y priorizar reforzamiento, reubicación, planificación urbana y respuesta. Sin un modelo de exposición consistente, la reconstrucción y la reducción futura del riesgo seguirán apoyándose en información fragmentaria (GEM Foundation, 2026).

La ingeniería venezolana dispone de experiencia y conocimiento para liderar este proceso. La oportunidad consiste en transformar una tragedia en un punto de inflexión para la seguridad sísmica, la planificación territorial y una cultura de prevención basada en evidencia.

Referencias

Altez, R. (2005). Los sismos del 26 de marzo de 1812 en Venezuela: nuevos aportes y evidencias sobre estos eventos. Boletín Técnico, 43(2), 11-34. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2005000200002

Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2009). Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N.º 39.095, 9 de enero de 2009. https://faolex.fao.org/docs/pdf/ven86114.pdf

Baker, J. W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(5), 1486-1501. https://doi.org/10.1785/0120060255

Bernal, G., y Cardona, O.-D. (2026, 9 de julio). Una excepcional demanda sísmica y sus implicaciones para el diseño sismorresistente: Modelación del movimiento fuerte derivado del segundo sismo del 24 de junio de 2026 en Venezuela. INGENIAR Risk Intelligence. https://www.ingeniar-risk.com/documentos/INGENIAR%20-%20Informe%20sobre%20aceleraciones%20s%C3%ACsmicas%20-Venezuela%202026.pdf

Ciudad CCS. (2026, 30 de junio). Nuevo balance eleva la cifra a 19 mil 961 el número de sobrevivientes. https://www.ciudadccs.info/index.php/publicacion/46323-nuevo-balance-eleva-la-cifra-a-19-mil-961-el-numero-de-sobrevivientes

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (2001). COVENIN 1756-1:2001. Edificaciones

sismorresistentes. Parte 1: Articulado (1ra revisión). FONDONORMA.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (2019). COVENIN 1756-1:2019. Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos (2da revisión). Fondo de Desarrollo para la Normalización, Calidad, Certificación y Metrología (FODENORCA).

Correo del Orinoco. (2026, 7 de julio). Presidenta (E) Delcy Rodríguez activa Plan Venezuela Renace para recuperación de viviendas e infraestructura afectada por sismos. https://www.correodelorinoco.gob.ve/presidenta-e-delcy-rodriguez-activa-plan-venezuela-renace-para-recuperacion-de-viviendas-e-infraestructura-afectada-por-sismos/

Global Earthquake Model (GEM) Foundation. (2026). Exposure Models. OpenQuake Engine 3.26.2 documentation. https://docs.openquake.org/oq-engine/manual/latest/user-guide/inputs/exposure-models-inputs.html

Hernández, J. J., Schmitz, M., Audemard, F. A., y Malavé, G. (2006). Marco conceptual del proyecto de microzonificación de Caracas y Barquisimeto. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica (VIII CONVESIS), Valencia, Venezuela, 17-19 de mayo de 2006.

Ministerio del Poder Popular para Relaciones Exteriores y Comercio Internacional (MPPRE). (2026, 21 de julio). Presidenta Delcy Rodríguez encabeza inspección en La Guaira para certificar terrenos aptos para desarrollos urbanísticos. https://mppre.gob.ve/publicacion/7808

Romero, M., Cragno, A., Schmitz, M., y Ambrosio, R. (2006). Caracterización de suelos con métodos geofísicos en La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, estado Vargas, Venezuela. Boletín Técnico, 44(1), 16-29. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2006000100002

Schmitz, Michael (2026). Aportes de la microzonificación sísmica para la mitigación del riesgo sísmico en Venezuela (Trabajo de incorporación a la ANIH), Boletín ANIH abril-junio, 71, 544-643.

Seed, H. B., Whitman, R. V., Dezfulian, H., Dobry, R., y Idriss, I. M. (1972). Soil conditions and building damage in 1967 Caracas earthquake. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 98(8), 787-806. https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001768

U.S. Geological Survey (USGS). (2026). M 7.5 - 28 km SE of Yumare, Venezuela, and M 7.2 - 23 km SE of Yumare, Venezuela, 24 June 2026. Earthquake Hazards Program. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/

Últimas Noticias. (2026, 24 de agosto). A 6.509 asciende el número de personas fallecidas por los terremotos. https://ultimasnoticias.com.ve/sucesos/a-6-509-asciende-el-numero-de-personas-fallecidas-por-los-terremotos/

Zhang, S., Ni, P., Han, Q., Wen, J., Du, X. L., y Li, J. (2026). Vision-based identification method of earthquake ground motions. Engineering Structures, 346, 121642. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.121642

Nota sobre las imágenes

Las fotografías integradas en este documento provienen del registro fotográfico del autor de este artículo. Las imágenes fueron tomadas en inspecciones efectuadas entre el 2 y el 4 de julio de 2026 en las zonas afectadas

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/176
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 220 – 230

INCOMPATIBILIDAD ENTRE PÓRTICOS Y PAREDES DE RELLENO DE MAMPOSTERÍA: LECCIONES RECURRENTES RATIFICADAS TRAS EL TERREMOTO DE LA GUAIRA DE 2026

Alfredo URICH[1]

RESUMEN

El terremoto de La Guaira de 2026 ratifica la necesidad de atender las lecciones reiteradas sobre el peligro de asumir la mampostería de relleno como un simple componente no estructural. Al desestimar la rigidez de estos tabiques, se ignora su capacidad para alterar la respuesta dinámica de la edificación, induciendo mecanismos de falla frágil e irregularidades como el entrepiso blando y la columna corta. Existe una marcada incompatibilidad de deformaciones: mientras los pórticos dúctiles de concreto armado toleran altas derivas inelásticas, la mampostería se comporta como un fusible rígido que se agrieta a distorsiones mínimas (δ/H = 0,001~0,002) y colapsa prematuramente frente a la demanda de deformación impuesta por los sismos, comprometiendo la seguridad de los ocupantes. Frente a esta comprobada incompatibilidad, se concluye que resulta imperativo insistir en el aislamiento efectivo de las paredes respecto a los pórticos o, en su defecto, considerar estructuras mucho más rígidas que puedan dominar el desempeño y minimizar la contribución de las paredes en la rigidez del edificio. Para controlar el daño en la mampostería sin fines estructurales, se recomienda reducir las derivas admisibles de diseño a un máximo de δ/H = 0,006. Ignorar estas evidencias históricas perpetúa vulnerabilidades estructurales que han resultado letales en muchos sismos. Se trata de un cambio de paradigma y un trabajo interdisciplinario que demanda la atención de ingenieros y arquitectos responsables de proyectar y construir en zonas sísmicas.

ABSTRACT

Incompatibility between MR frames and masonry infills: recurring lessons reaffirmed following the 2026 La Guaira Earthquake

The 2026 La Guaira earthquake reaffirms the need to heed the recurring lessons regarding the danger of assuming masonry infill walls as mere non-structural components. By disregarding the stiffness of these infills, their capacity to drastically alter the dynamic response of the building is ignored, inducing brittle failure mechanisms and irregularities such as soft stories and short columns. There is a marked deformation incompatibility: while ductile reinforced concrete frames tolerate high inelastic drifts, masonry behaves as a rigid fuse that cracks at minimal drift ratios (δ/H = 0.001~0.002) and collapses prematurely under the deformation demands imposed by earthquakes, compromising occupant safety. Faced with this proven incompatibility, it is concluded that it is imperative to insist on the effective isolation of the walls from the frames or, alternatively, to design much stiffer structures capable of governing the performance and minimizing the contribution of the walls to the overall building stiffness. To control damage in masonry with no intended structural purpose, it is recommended to reduce allowable design drifts to a maximum of δ/H = 0.006. Ignoring this historical evidence perpetuates structural vulnerabilities that have proven lethal in many earthquakes. This requires a paradigm shift and interdisciplinary collaboration that demands the attention of engineers and architects responsible for designing and constructing in seismic zones.

Palabras clave: Mampostería de relleno, Pórticos, Vulnerabilidad sísmica, Deriva de entrepiso, Sismo de La Guaira 2026
Keywords: Masonry infills, Moment-resisting frames, Seismic vulnerability, Interstory drift, 2026 La Guaira earthquake

1. INTRODUCCIÓN

Los sismos del 24 de junio de 2026 en Venezuela evidencian, una vez más, el impacto de las mal denominadas paredes no estructurales de mampostería. Esta no es una preocupación reciente ni aislada: múltiples autores han documentado el desempeño de edificios típicos de pórticos con "paredes no estructurales" ante terremotos, alertando sobre los peligros de ignorar la interacción entre estos elementos. Beauperthuy y Urich (2011) presentan un análisis sobre el caso venezolano, el cual es ampliado por Urich (2017) en el contexto del terremoto de Pedernales, Ecuador. Estas inquietudes son compartidas por otros autores que han abordado las implicaciones de la arquitectura moderna en zonas sísmicas (Guevara, 2009) y la necesidad de contar con guías conceptuales para el diseño de edificaciones nuevas que contemplen estas variables (Semnani, Rodgers y Burton, 2014).

[1] Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat - Comisión de Infraestructura

Este artículo presenta una serie de notas documentales y reflexiones sobre las paredes de relleno de mampostería. Se hace un análisis de las distorsiones o derivas que son capaces de tolerar, cómo aportan rigidez y resistencia antes de agrietarse —lo que ocurre a deformaciones muy pequeñas— y cómo este aporte cae bruscamente mientras se destruyen al someterse a las grandes derivas que hoy en día se admiten en las estructuras aporticadas.

Para ilustrar estos patrones típicos, se muestran ejemplos documentados luego de los sismos recientes en La Guaira. Finalmente, se presenta una serie de reflexiones enfatizando que, si se construyen paredes de mampostería sin aislarlas convenientemente de las columnas y las vigas, las estructuras ya no califican como pórticos dúctiles a momento, sino que conforman otro tipo estructural denominado pórticos con paredes de relleno, cuyo desempeño sismorresistente ha sido muy cuestionado a nivel mundial para la construcción de edificios de mediana y gran altura.

2. EVOLUCIÓN DEL USO DE LA MAMPOSTERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN: DESDE LOS MUROS DE CARGA HACIA LAS PAREDES DE RELLENO

Hasta finales del siglo XIX, los muros de mampostería no solo cumplían la función de dividir o aislar los espacios en los edificios, sino que también constituían la estructura portante. La transición hacia prescindir de estos muros como parte de la estructura inició con arquitectos como Auguste Perret, quien en el año 1903 construye un edificio de 8 pisos en Paris, empleando una estructura de pórticos de concreto reforzado donde se diferencian claramente los elementos portantes de los cerramientos. Ese edificio fue una gran innovación para su época, ya que el esqueleto estructural de concreto reforzado permitía lograr grandes luces internas mientras los tabiques, al no cumplir funciones estructurales, podían inclusive ser modificados al gusto y necesidades de los habitantes (Díaz, 2012). Más adelante, esa transición hacia prescindir de los muros tradicionales de carga y promover espacios libres con columnas esbeltas es muy influenciada por Le Corbusier, a través de sus postulados en el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna que inicia en el año 1928. Esta tendencia marcó un cambio de paradigma que persiste hasta nuestros días (Guevara, 2009).

A partir de esas primeras experiencias, se ha popularizado cada vez más la construcción de estructuras aporticadas de concreto reforzado, sin dejar de lado a las paredes de mampostería para las divisiones internas y el cerramiento de fachadas, pero ahora, estas últimas sólo son consideradas como "componentes no estructurales". De hecho, es práctica común desestimar la rigidez y resistencia de estas paredes y considerar que sólo aportan peso y masa a los modelos empleados en el análisis y diseño estructural (Figura 1).



Figura 1. Pórticos de concreto reforzado y paredes "no estructurales" de mampostería – construcciones típicas y criterios usuales para el análisis y diseño

3. LECCIONES REITERADAS POR DIVERSOS AUTORES

La ocurrencia de sismos en las últimas décadas ha demostrado reiteradamente que las paredes de relleno contribuyen significativamente a la respuesta estructural, contribución que puede ser tanto positiva como negativa. La Figura 2 muestra varios países donde es usual que los reportes de daños después de terremotos hagan énfasis en esta situación, (Barros Cabezas, 2023).

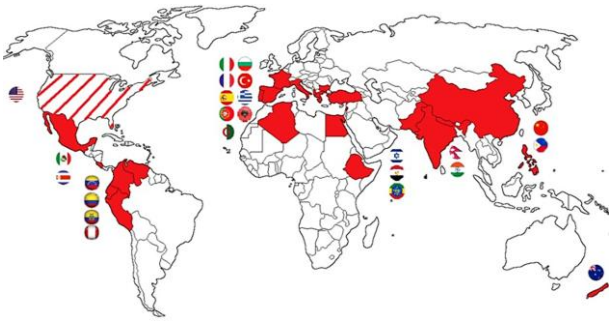


Figura 2. Países donde son comunes los reportes de daños por sismo en pórticos con paredes de relleno (Barros Cabezas, 2023)

A continuación, se resumen algunos de los aspectos más relevantes destacados en la literatura especializada. *Las paredes de relleno:*

- Pueden inducir consecuencias tanto positivas como nocivas: hasta finales de la década de los 90s, aunque se reconocían efectos adversos relacionados con la presencia de paredes de relleno de mampostería, se hacía también énfasis en sus beneficios, ya que éstas son capaces de tomar gran parte de las acciones sísmicas; Al-Chaar (1998) presenta una excelente recopilación documental sobre las tendencias en esos primeros años. Estudios más recientes [e.g. (Bachmann, 2003) (Ghobarah, 2004) (Pampanin, 2006) (Moehle, Hooper, & Lubke, 2008) (Deierlein, Reinhorn, & Willford, 2010) (Mosalam & Günay, 2015) (Semnani, Rodgers, & Burton, 2014)] insisten en que, para edificios de varios pisos, los tabiques de relleno podrían considerarse beneficiosos sólo para sismos de baja intensidad, mientras la mampostería no se agriete, porque a partir de ese momento su desempeño suele resultar muy

errático y dominado por mecanismos frágiles, incluso para estructuras recientes detalladas según códigos modernos que prevén sistemas dúctiles.

- Modifican las propiedades estructurales: alteran el período natural y el amortiguamiento; también modifican la transferencia de tensiones a través de los miembros estructurales, cambiando el dominio de la flexión en los marcos, por puntales de compresión a través de las paredes, situación que aumenta las tensiones axiales en las columnas, vigas y fundaciones (Hashemi & Mosalam, 2007) (Kaushik, Rai, & Jain, 2006). Incluso si se separan las paredes de las columnas y del techo, igualmente se rigidizan las vigas donde ellas se apoyan, forzando la migración de rotaciones hacia las columnas y descartando el concepto de columna fuerte-viga débil (Tasligedik, Pampanin, & Palermo, 2011).
- Son responsables de las irregularidades tipificadas más dañinas: tales como el entrepiso blando, el entrepiso débil, el efecto de columna corta y la torsión (Bachmann, 2003) (Guevara, 2012). Varios autores han advertido que estos problemas pueden ocurrir en lugares que no son evidentes en la configuración original del edificio, sino que inesperadamente aparecen cuando las paredes comienzan a agrietarse (Saatcioglu, et al., 2001) (Pampanin, 2006) (Moehle, Hooper, & Lubke, 2008) (Günay & Mosalam, 2010) (Deierlein, Reinhorn, & Willford, 2010) (Beauperthuy & Urich, 2011).
- Están contempladas en los códigos: la mayoría de las normas internacionales prescriben dos opciones, una es aislar las paredes para que no interfieran con la estructura, la otra es que éstas sean incluidas en el análisis y diseño como parte del sistema estructural. Muchos códigos establecen penalizaciones al considerarlas como una irregularidad estructural, aumentando las cargas de diseño o afectando la capacidad de las estructuras por factores que pueden variar entre 1,15 y 4,7 veces (Kaushik, Rai, & Jain, 2006). Otro aspecto que todavía es vigente en los códigos es el cortante basal mínimo, criterio que fue incorporado desde finales de los 70s al reconocer que las paredes modifican las propiedades dinámicas, tal como se evidenció en mediciones de períodos en edificios de esa época (COVENIN 1756, 2001).
- Se pueden modelar, pero aún no hay suficiente consenso en cómo hacerlo: se han desarrollado numerosos modelos matemáticos para incorporar las paredes de relleno en el análisis y diseño [e.g. (Torrisi, Crisafulli, & Pavese, 2012)]. En general se consideran como puntales de compresión simple, puntales múltiples, elementos finitos, etc. En muchos casos se sugiere la necesidad de recurrir al análisis no lineal, pero también se proponen modelos simplificados de análisis lineal. Algunos autores recomiendan el uso simultáneo de dos modelos: uno que incluya a las paredes, para representar la condición inicial (bajas deformaciones) e identificar los mecanismos frágiles que éstas generan, más un segundo modelo sin incorporar las paredes, para representar la condición extrema del edificio cuando éstas pierden su aporte de rigidez y resistencia (López, 2014). A pesar de contarse con una amplia bibliografía al respecto, muchos autores indican que los modelos disponibles todavía no han sido suficientemente calibrados y que sus resultados no son siempre consistentes, sobre todo si se pretende analizar edificios de mediana a gran altura (Semnani, Rodgers, & Burton, 2014).
- Suelen ser subestimadas en el cálculo estructural: A pesar de que existen previsiones en las normas o códigos, en muchos países sigue siendo común considerar las paredes sólo como componentes "no estructurales". Desafortunadamente, no hay suficiente conciencia acerca de la excesiva flexibilidad de los sistemas estructurales de tipo "pórticos" y se comete el error de desatender o subestimar la influencia de los tabiques en el desempeño sismorresistente (Colombia NSR-10, 2010) (Searer & Fierro, 2004). Muchas veces este error se potencia por la carencia de criterios claros en la literatura sobre cómo modelar y diseñar teniendo en cuenta las paredes, o cómo aislarlas adecuadamente de los miembros estructurales (Moehle, Hooper, & Lubke, 2008) (Haldar, Singh, & Paul, 2013).
- Muchos proponen evitarlas: en los países más desarrollados empezaron a descartar el uso de paredes de relleno de mampostería desde finales de los 70s y principios de los 80. En algunos códigos se refieren a estos sistemas sólo para el análisis de edificaciones existentes, pero no para promover nuevas construcciones (ASCE/SEI 41-17, 2017). Cuando se persiste en el uso de la mampostería para las paredes, muchos autores proponen dos sistemas de construcción alternativos: mampostería confinada o reforzada para edificios de baja altura (hasta un máximo de 3 o 4 pisos), o muros de concreto armado para edificios más altos (Murty, Brzev, Faison, Comartin, & Irfanoglu, 2006).

4. DESEMPEÑO OBSERVADO TRAS LOS SISMOS DE VENEZUELA 2026

En este apartado se muestran algunos ejemplos de daños en edificios de Caracas y La Guaira relacionados con los sismos del 24 de junio de 2026, se trata de patrones recurrentes de cómo la interacción con las paredes puede inducir daños en la estructura y también de cómo la excesiva flexibilidad de la estructura genera lesiones que pueden resultar inaceptables en las paredes. Se pueden consultar detalles sobre estos y más patrones en Guevara (2012), Urich & Beauperthuy (2013)y Urich (2017).

4.1 Patrones de daño en la estructura inducidos por la interacción con las paredes

Los siguientes patrones de daño en la estructura inducidos por las paredes de relleno pueden ocurrir tanto en estructuras antiguas, no dúctiles, como en estructuras más modernas diseñadas y construidas con un buen nivel de diseño si se consideran como pórticos libres, pero que se pueden comportar frágilmente cuando interactúan con las paredes de relleno. Las figuras muestran con flechas en rojo el flujo de tensiones impuestas por las paredes hacia las columnas y vigas.

En la Figura 3 se evidencia una edificación con planta baja libre, donde la reducción de rigidez y resistencia lateral debido a la discontinuidad de paredes propicia la formación de un mecanismo clásico de entrepiso blando y/o débil. Este comportamiento concentra demandas de deformación inelástica en las columnas del nivel inferior. La figura muestra dos módulos adyacentes con estructuras similares, arriba las columnas con daños severos en condición de pre-colapso que requirieron un apuntalamiento de emergencia; abajo el módulo vecino que colapsó.



Figura 3. Planta baja libre (entrepiso blando/débil). Arriba: condición de daño extremo en columna; abajo: colapso de edificio con estructuración similar

La Figura 4 presenta un detalle del conocido "efecto de columna corta" o "efecto de columna cautiva", generado por la restricción parcial de la mampostería perimetral. La reducción de la altura libre incrementa proporcionalmente el cortante demandado, induciendo una falla frágil diagonal que compromete la estabilidad del miembro estructural. Este comportamiento no solo se presenta en caso de sismos, sino que también se puede presentar para deformaciones más pequeñas, inclusive ante dilataciones térmicas. Cuando se incluyen las relaciones de rigideces relativas entre la columna corta y la equivalente libre en toda su altura, las fuerzas sobre la corta varían no linealmente, sino en una potencia de 3. Un análisis riguroso de este problema se muestra en (Beauperthuy & Urich, 2011).

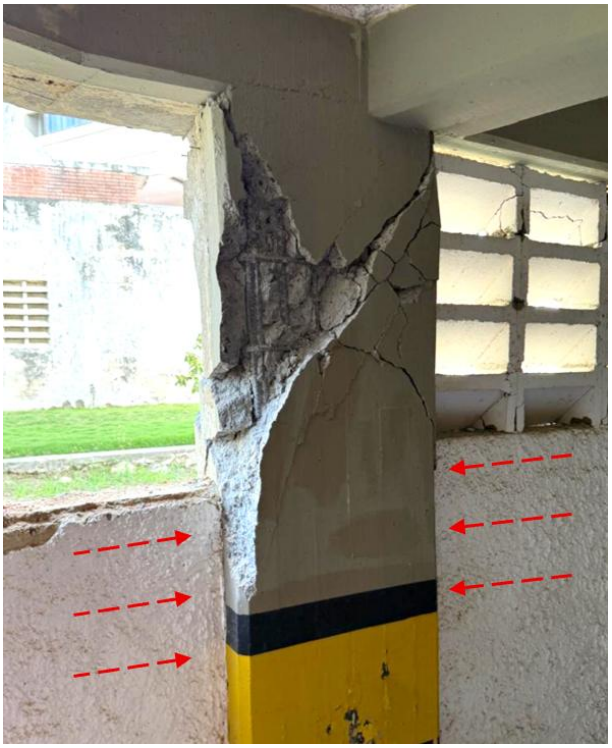


Figura 4. Efecto de columna corta o columna cautiva

Las fallas descritas en el párrafo anterior no solo se presentan en las columnas, sino que también pueden presentarse en vigas y losas. La Figura 5 muestra el "efecto de viga corta" o "viga cautiva", que se manifiesta en los elementos horizontales cuando son confinados parcialmente por paredes con un tramo libre para dar paso a ventanas u otras discontinuidades. Las restricciones de la pared impiden la deformación de vigas y losas en la porción confinada y concentran los esfuerzos cortantes en longitudes reducidas libres, provocando fisuración inclinada y alterando la distribución esperada de los momentos flectores en los pórticos.

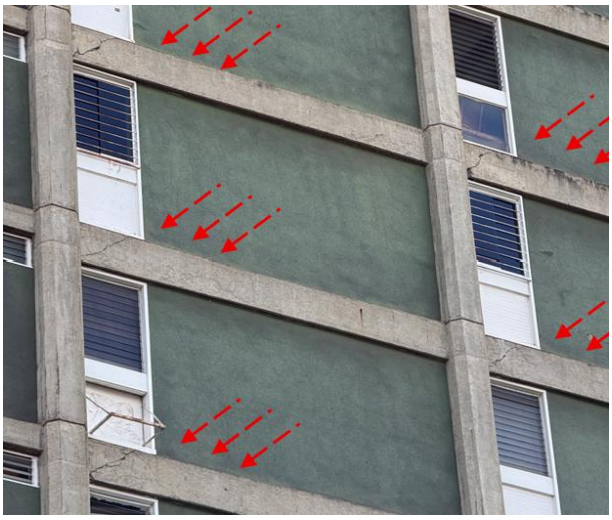


Figura 5. Efecto de viga corta o viga cautiva

La Figura 6 muestra otra falla típica por efecto de las paredes sobre la estructura, en este caso se aprecia el desplazamiento relativo de la viga superior con respecto a la columna, la cual no puede acompañar el movimiento lateral porque es impedido por las paredes de planta baja. Se aprecia el daño severo en el nodo, expuesto desde perspectivas externa e interna, con evidencia de deformación remanente en el acero de refuerzo longitudinal de la columna.

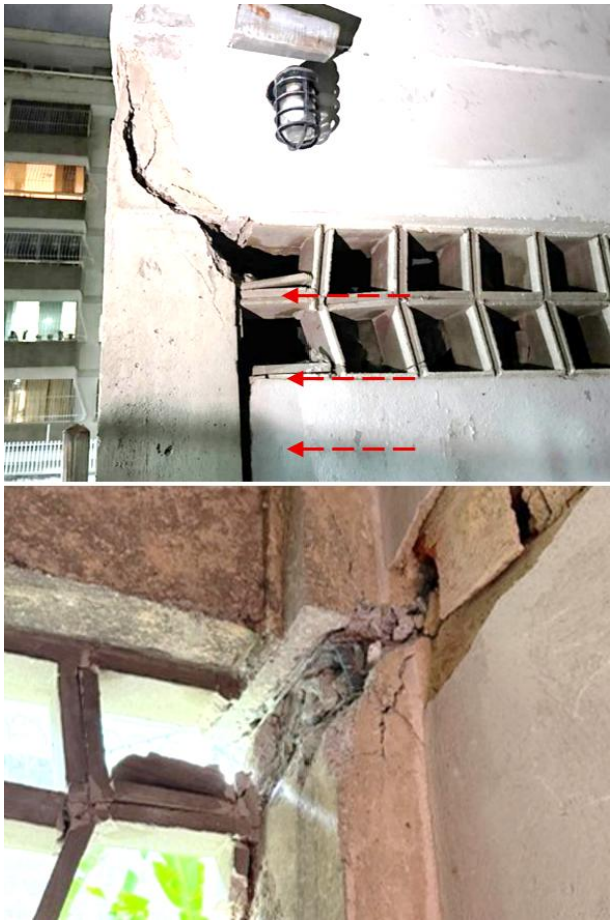


Figura 6. Falla y desplazamiento de nodo en columna. Arriba: vista externa; abajo: vista interna

La Figura 7 muestra daños severos en los nodos y los extremos de las columnas y las vigas ocasionados por la concentración de tensiones hacia las esquinas de las paredes de mampostería. Las fuerzas de compresión que se desarrollan en la diagonal de la mampostería transfieren reacciones axiales y cortantes sobredimensionadas a los elementos del pórtico adyacente, acelerando su deterioro estructural.

El mecanismo de piso blando o débil, tal como el mostrado en la Figura 3, no se presenta únicamente cuando es evidente en la configuración original del edificio, sino que también puede presentarse tras la rotura abrupta de las paredes en niveles intermedios, tal como se muestra en la Figura 8. Mientras los pisos inferiores colapsan por la concentración de la deriva, los niveles superiores permanecen prácticamente intactos, comportándose como un cuerpo rígido debido a la alta rigidez que confieren las paredes antes de agrietarse. La carencia de grietas en las paredes en los niveles por encima del entrepiso que colapsó evidencia este comportamiento.

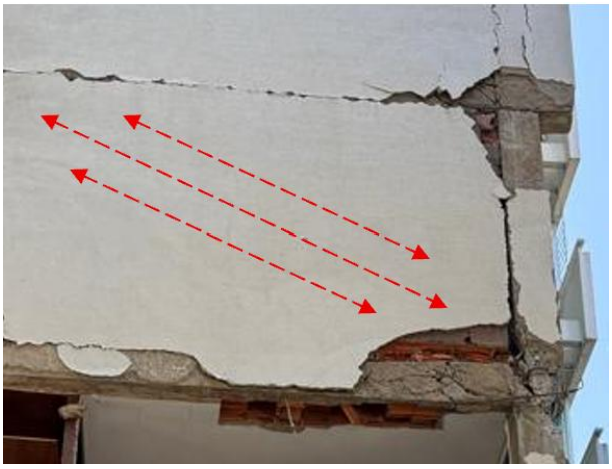


Figura 7. Fallas en nodos y extremos de columnas y vigas por concentración de tensiones hacia las aristas de la pared

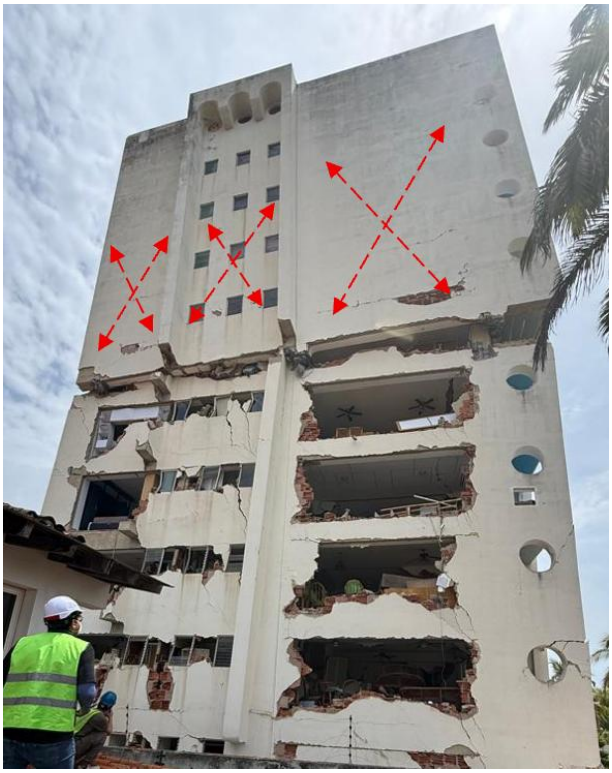


Figura 8. Entrepiso blando/débil generado al romperse las paredes mientras pisos superiores actúan prácticamente como un cuerpo rígido

4.2 Patrones de daño en paredes inducidos por la excesiva flexibilidad de la estructura

La excesiva flexibilidad de las estructuras aporticadas también puede generar diversidad de daños en las paredes, que van desde fisuras leves hasta la destrucción total de las mismas.

La Figura 9 muestra daños incipientes en acabados de la tabiquería interior de un centro de salud, los cuales, aunque estructuralmente leves, resultan inaceptables por comprometer la operatividad de instalaciones esenciales durante una emergencia, evidenciando los límites de servicio de la edificación. Daños inclusive menores, como fisuras de escasas décimas de milímetro, suelen generar alarma en personas que no saben identificar si se trata de un daño estructural o no estructural, por lo que muchos pasan días sin querer regresar a sus hogares después de un sismo.

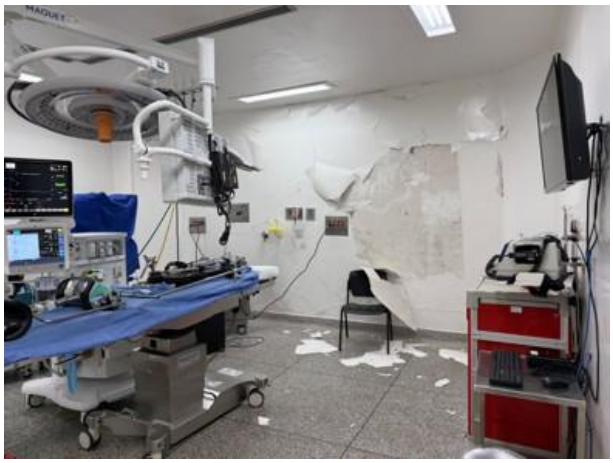


Figura 9. Daños incipientes, pero que lucen inaceptables en un centro de salud

La Figura 10 presenta la destrucción y colapso parcial de paredes de fachada (mampostería no estructural). Este nivel de daño extremo se produce a niveles de deriva relativamente bajos, frecuentemente antes de que los miembros principales del pórtico de concreto reforzado desarrollen deformaciones inelásticas significativas, tal como se evidencia en la carencia de daño en columnas y vigas. Destaca que la caída de porciones de paredes hacia el vacío pone en peligro la vida de las personas que puedan estar en ese momento en sus adyacencias o tratando de desalojarlo durante el sismo.



Figura 10. Daños extremos en paredes ocurren inclusive antes de que se presenten deformaciones inelásticas (daños) en la estructura

También la Figura 11 presenta escenarios críticos de colapso de tabiquería, en este caso las paredes internas, de pasillos y de escaleras. La destrucción generalizada de estos muros no estructurales representa un peligro letal para los ocupantes por desprendimiento de escombros, además del bloqueo de las rutas de evacuación y salidas de emergencia.



Figura 11. Daños extremos en paredes pueden causar lesiones fatales y bloquear las salidas de emergencia

5. INCOMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES: MAMPOSTERÍA VS. PÓRTICO

El desempeño de las paredes de mampostería está íntimamente relacionado con las distorsiones que ellas experimentan durante un sismo.

La Figura 12 y la Tabla 1 muestran los niveles de daño y desempeño para la mampostería de relleno, incluyendo valores de deriva asociados y cómo se degrada su rigidez. Estos valores son coincidentes en numerosas referencias, entre las cuales se pueden resaltar (Ghobarah, 2004) (Pérez Gavilán, 2012) (Urich & Beauperthuy, 2013) (Chiozzi & Miranda, 2017).



Figura 12. Niveles de desempeño y daños típicos en paredes de relleno de mampostería

Tabla 1. Niveles de desempeño para paredes de relleno de mampostería

Nivel de Desempeño	Descripción	Deriva normalizada (δ/h)*	Rigidez relativa (%)**
ND0 Sin daño	Sin daños.	< 0,001	100
ND1 Daño leve	Aparición de primeras grietas de poca anchura (décimas de milímetro a dos milímetros), poco perceptibles a distancia.	0,001 a 0,002	100 a 40
ND2 Daño moderado	Grietas de varios milímetros de anchura, fácilmente visibles a distancia; eventual rotura o desprendimiento de porciones reducidas de las paredes, principalmente en aristas de ventanas y contacto con miembros estructurales; posible desprendimiento de pequeñas porciones del revestimiento.	0,002 a 0,005	40 a 10
ND3 Daño severo	Grietas extensas cuya anchura es del orden de un centímetro de espesor; eventual separación entre las paredes y los miembros estructurales; eventual desprendimiento del revestimiento y derrumbe de porciones de pared, pero ésta aún sigue en pie.	0,005 a 0,010	< 10
ND4 Daño extremo	Grietas de varios centímetros de anchura, deslizamiento significativo de porciones de paredes no confinadas, derrumbe de porciones significativas de paredes o inclusive paredes enteras.	> 0,010	-

(*) δ= deriva del entrepiso considerado; h= altura del entrepiso considerado.
(**) Rigidez remanente de pared con respecto la rigidez inicial (antes de agrietarse)

Destaca que los tabiques de mampostería suelen mostrar sus primeras fisuras a distorsiones tan bajas como δ/H=0,001, comenzando en este punto una degradación progresiva de su rigidez y resistencia, dominada por mecanismos frágiles, que pueden conducir a daños severos o inclusive colapsos parciales a distorsiones del orden de δ/H=0,005 y luego la destrucción total a partir de distorsiones del orden de δ/H=0,010.

También se observa que estos rangos de deformación o desempeño de las paredes de mampostería son incompatibles con los esperados en los pórticos de concreto reforzado (ver también Figura 13), los cuales típicamente alcanzan su resistencia cedente en las vigas a derivas del orden de δ/H=0,003, para luego desarrollar deformaciones inelásticas que pueden alcanzar valores del orden de δ/H=0,020 en caso de estructuras dúctiles diseñadas después de los años 80.

Entonces, cuando las paredes y los miembros estructurales del pórtico están en contacto, en el momento en el cual el aporte de rigidez y resistencia de las paredes es máximo, el aporte de los pórticos todavía es bajo; mientras que, si se logra desarrollar plenamente la capacidad prevista en los pórticos, las paredes no podrán acompañarlos y quedarán totalmente destruidas. En la sección anterior se mostraron ejemplos de esta situación.

La Figura 13 presenta una serie de patrones de desempeño observados reiteradamente en pórticos libres y en pórticos con paredes de relleno cuando ocurren sismos de moderada a gran intensidad, más detalles se pueden consultar en (Urich & Beauperthuy, 2013) y (Urich, 2017).

En la parte superior de la figura se muestra el desempeño típico de los pórticos dúctiles libres, donde es común que luego de un sismo se observen grietas por flexión en las vigas, típicas de rotulas plásticas, compatibles con la posibilidad de lograr niveles de deformación o deriva significativos. Cabe destacar que es realmente difícil encontrar pórticos totalmente libres en Venezuela y otros países con prácticas constructivas similares, sólo algunos edificios en etapa de construcción en los cuales aún no se han construido las paredes.

En el centro de la figura se muestra el caso típico cuando el desempeño es dominado por las paredes, generando mecanismos de entrepiso blando, efecto de columna corta, torsión u otros, los cuales obligan a concentrar la demanda de tensiones y deformaciones sólo en porciones reducidas de los miembros del sistema estructural, provocando fallas frágiles a niveles de deformación muy pequeños.

En la parte inferior de la figura se muestra lo que ocurre cuando las paredes son más débiles y el pórtico es quien domina el desempeño. En estos casos las paredes pueden alterar un poco la rigidez inicial del sistema estructural, pero al agrietarse degradan su rigidez permitiendo que los pórticos regresen a su curva original como pórticos libres; el problema es que a los niveles de deriva que se espera que alcancen los pórticos, las paredes colapsan, poniendo en riesgo la vida de los habitantes o usuarios de los edificios y comprometiendo

el objetivo fundamental del diseño sismorresistente que es la protección de la vida.

En resumen, se observa que no hay compatibilidad de deformaciones ni de ductilidad entre los pórticos (dúctiles pero muy flexibles) y las paredes de mampostería (rígidas y frágiles); estas últimas terminan muchas veces actuando como fusibles que, al comenzar a agrietarse, disminuyen súbitamente la rigidez y resistencia de sectores particulares del edificio, lo cual genera diversos problemas que pueden activarse aún a derivas muy bajas, menos de la sexta parte de las necesarias para que los miembros estructurales de los pórticos desarrollen su capacidad. A esto se suma que el daño y caída de las paredes puede comprometer el nivel de "seguridad de vida" inclusive si la estructura principal exhibe un buen desempeño y apenas supera el rango elástico.

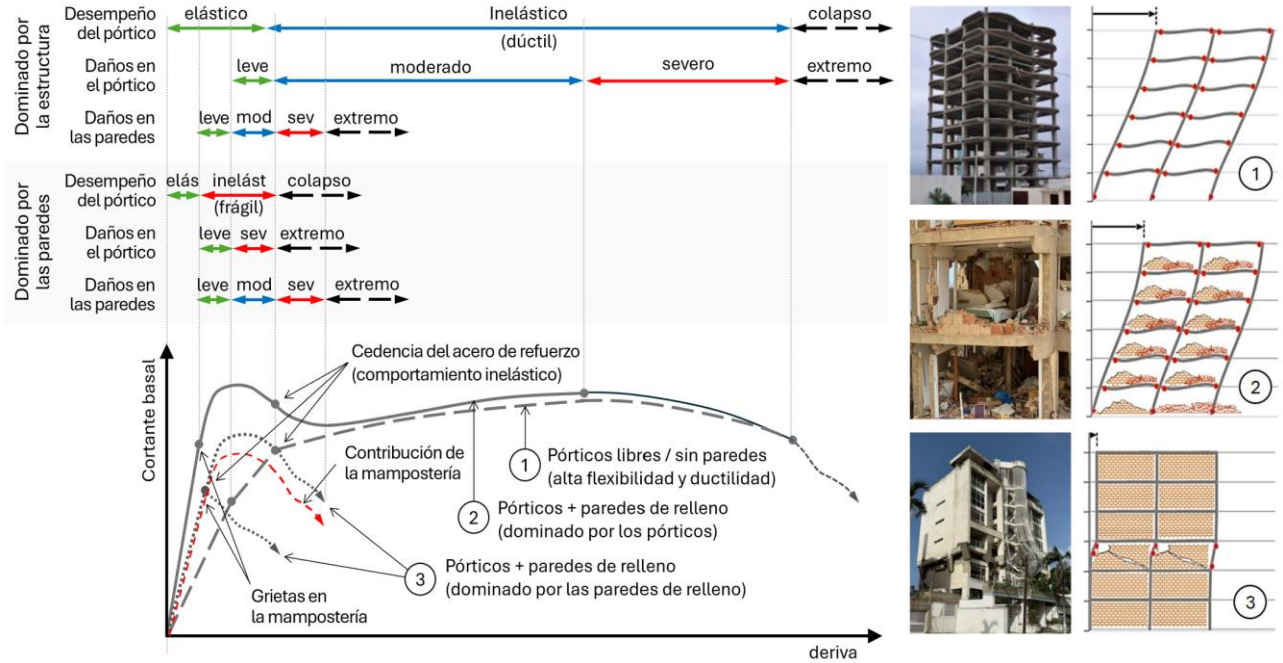


Figura 13. Patrones de desempeño observados en pórticos libres y pórticos con paredes de relleno, adaptado de Urich (2017)

6. ALGUNOS MITOS SOBRE EL ROL DE LAS PAREDES DE MAMPOSTERÍA EN EL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE

El rol de las paredes de mampostería en el desempeño sismorresistente de las edificaciones no es para nada nuevo, innumerables publicaciones han discutido los tópicos que aquí se esbozan en el punto 3 y cada vez más se hace referencia a las derivas relativas que condicionan el desempeño de las paredes, desarrollado en el punto 5. La idea no es ser redundante, sino mostrar una visión integral de diversos temas que usualmente son abordados de forma aislada. Con el apoyo de los ejemplos y figuras anteriores, es posible rebatir algunos mitos comunes, lo cual será el énfasis en este punto:

- *Muchas estructuras tuvieron un buen desempeño, ya que no se observaron daños ni siquiera en las paredes de mampostería.*
  Falso: En el nivel de deriva relativa donde la mampostería no presenta daños (hasta un 0,001~0,002), la contribución de los miembros del pórtico es mínima. Hasta ese punto, las columnas y vigas solo han ayudado en la distribución de las tensiones a lo largo de la mampostería, la cual está absorbiendo casi la totalidad de las cargas laterales. Por lo tanto, si hubo un sismo fuerte y las paredes no se agrietaron, no es porque la estructura (columnas y vigas) funcionaron bien, sino que fue la mampostería la que tuvo un buen desempeño, participando como estructura, mientras que los pórticos no ejercieron su función prevista.

- *Muchos edificios experimentaron únicamente daños no estructurales, sólo es necesario reparar las paredes, preferiblemente separarlas o usar materiales más flexibles.*
  Falso:
  En muchos edificios con daños leves a moderados en la tabiquería de mampostería, especialmente en edificaciones de baja altura y estructuras antiguas previas a las normativas modernas, los elementos resistentes principales fueron precisamente las paredes de mampostería. Se debe tener mucho cuidado con esta situación, ya que muchas paredes degradadas por el sismo solo recibirán reparaciones cosméticas, mientras que otras serán reemplazadas, quizás con materiales distintos; ambas acciones cambiarán el desempeño de los edificios ante futuros terremotos.

- *El edificio tuvo el buen desempeño esperado, porque no colapsó. Los daños estructurales cumplen con el criterio de seguridad de vida previsto en las normas y son aceptables.*

Falso: La seguridad del edificio suele estar dominada por los elementos de mampostería en lugar de los miembros estructurales. Aunque la estructura principal alcance la capacidad de prevención de colapso, el nivel de desempeño de "seguridad de vida" en los elementos de mampostería se excederá mucho antes de que la estructura disipe una cantidad razonable de energía por deformación inelástica. La destrucción de los elementos de mampostería puede presentarse ante sacudidas entre 4 y 6 veces menores que las utilizadas como cargas de diseño y debe incluirse en el criterio para definir si la edificación pone en riesgo la vida de las personas.

- *Un factor de irregularidad que incremente las acciones en 1,3 veces cubre el incremento en la demanda, resultando en una estructura segura.*
  Falso: Si el desempeño está dominado por los elementos de mampostería, afectando la resistencia, la rigidez/período, la ductilidad, etc., la capacidad global en el nivel de seguridad de vida o prevención de colapso podría ser 10, 15 o 20 veces menor que las seleccionadas para el diseño, o incluso peor. Un ejemplo: en una estructura diseñada con un factor de reducción R igual a 6, una columna cautiva a media altura que afecte al 30% de las columnas en un nivel hará que estas fallen por corte (de forma frágil, sin ductilidad, sin factor "R") cuando el resto de las columnas aún no han comenzado a trabajar debido a su rigidez relativa. En consecuencia, la capacidad global a corte se reducirá a Vf = (30% / R) x Vn = 0,05 Vn, lo que significa que la capacidad global final (Vf) será 20 veces menor que la capacidad nominal (Vn) esperada por los diseñadores.

- *Cuando las paredes llenan toda la altura siempre son beneficiosas, ya que absorben parte de las cargas sísmicas sin causar irregularidades dañinas.*
  Falso: Es sabido que los edificios pueden tener un mejor desempeño gracias a la resistencia aportada por las paredes de mampostería, pero hay que tener cuidado con sus posibles beneficios. Usualmente, en estructuras regulares de 1 o 3 pisos las paredes resultan beneficiosas, incluso si no fueron concebidas como parte de la estructura, lo cual resalta el valor de las construcciones de mampostería. Sin embargo, para edificios más altos, los mecanismos frágiles ilustrados en este artículo son comunes; las irregularidades tipificadas más dañinas pueden manifestarse independientemente de si formaban parte o no de la configuración original del edificio.

El hecho es que, sean consideradas o no como un componente estructural, las paredes de mampostería suelen ser las protagonistas cuando se combinan con estructuras flexibles, ya que sus propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad no son compatibles. Por lo tanto, las mal denominadas paredes de mampostería "no estructurales" deberían llamarse paredes de mampostería "no intencionalmente estructurales", tal como ha sido bien definido por otros autores.

7. CONCLUSIONES

Se presenta cómo las paredes "no intencionalmente estructurales" de mampostería pueden tener un desempeño muy diverso en el caso de sismos: en ocasiones contribuyen con la rigidez y la resistencia del edificio, aportando una capacidad adicional; otras veces pueden ser responsables de fallas catastróficas al inducir lesiones en las columnas y vigas del pórtico; e incluso, independientemente de su participación en la respuesta estructural, su agrietamiento y posible derrumbe pueden limitar la operatividad de la edificación o poner en peligro la vida de sus ocupantes.

Es ampliamente reconocido que las paredes de mampostería pueden modificar las propiedades dinámicas del edificio, tales como el período y el amortiguamiento. También alteran la transferencia de tensiones a través de los miembros estructurales, cambiando el comportamiento a flexión y la formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas por tensiones de compresión-tracción en el marco y cortantes concentrados en los nodos. Asimismo, suelen ser responsables de las irregularidades tipificadas más dañinas, como el entrepiso blando/débil y la columna corta, entre otros.

Así como las paredes de mampostería pueden provocar efectos nocivos, también pueden aportar rigidez y resistencia, llegando a salvar a muchos edificios cuyas estructuras, muy precarias, no serían capaces de soportar un sismo por sí solas. Ahora bien, esto ocurre solo si las paredes no se dañan, ya que, al agotarse su capacidad, la tendencia es a desencadenar los comportamientos nocivos ya descritos.

Más allá de los posibles efectos beneficiosos o perjudiciales que puedan generar las paredes de mampostería, lo más importante es reconocer que si estas no se separan convenientemente de las columnas y vigas, el sistema resistente a sismos deja de calificar como pórtico dúctil de momento para convertirse en un pórtico con paredes de relleno, cuyo desempeño ante acciones laterales es muy distinto al de los pórticos libres.

De cara a la práctica profesional, se sabe bien que separar las paredes es la solución ideal desde el punto de vista estructural, aunque resulte compleja desde la perspectiva funcional y arquitectónica. Si persiste la opción de mantener las paredes de mampostería en contacto con la estructura, se recomienda reducir las derivas admisibles, para lo cual se sugiere que estas sean menores que $\delta/H = 0{,}006$ (0,6%).

Es el momento de dejar de hacer caso omiso a las advertencias que se repiten en las normas y en la bibliografía especializada. Debemos entender que, o cambiamos la forma de diseñar y construir nuestros edificios, o sismo tras sismo seguiremos tropezando con la misma piedra; o quizá sea mejor decir: con la misma "pared no estructural".

8. REFERENCIAS

Al-Chaar, G. (1998). *Non-ductile behavior of reinforced concrete frames with masonry infill panels subjected to in-plane loading.* Champaign IL: (No. CERL-TM-99/18) Construction engineering research lab (army) .

AMPP), N. I. (s.f.).

ASCE/SEI 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.* Reston, Va. USA: American Society of Civil Engineers .

Bachmann, H. (2003). *Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners, and authorities.* Bern: Swiss Federal Office for Water and Geology Swiss Agency for Development and Cooperation.

Barros Cabezas, J. (2023). *Metodología y Validación Experimental para el Estudio de la Influencia de los Rellenos en el Comportamiento Sísmico de Pórticos.* Granada, España: Tesis Doctoral, Universidad de Granada.

Beauperthuy, J. L., & Urich, A. J. (2011). El Efecto de Columna Corta. Estudio de Casos. *IV Congreso Nacional de Patología de la Construcción.* Barquisimeto: ALCONPAT.

Chiozzi, A., & Miranda, E. (2017). Fragility functions for masonry infill walls with in-plane loading. *Earthquake Engng Struct Dyn, 1*(20), https://doi.org/10.1002/eqe.293420.

Colombia NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.* Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial / Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

COVENIN 1756. (2001). *Norma Venezolana: Edificaciones Sismorresistentes.* Caracas, Venezuela: Fondonorma.

Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., & Willford, M. R. (2010). *Nonlinear structural analysis for seismic design - NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4,.* Gaithersburg: Procuced by the NEHRP Consultants Joint Venture, a partnership of Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, for the National Institute of Standards and Technology.

Díaz, F. (2012). *Historia de la Arquitectura Humanismo-Postmodernismo: Casa de la calle Franklin.* Recuperado el 21 de febrero de 2017, de http://renacimiento--humanismo.blogspot.com/

Ghobarah, A. (2004). On Drift Limits Associated with Different Damage Levels. *International Workshop on Performance-Based Seismic Design. Concepts and Implementation. Bled, Slovenia* (págs. 321-332). Berkeley: The Pacific Earthquake Engineering Research Center.

Guevara, T. (2009). *Arquitectura Moderna en Zonas Sísmicas.* Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.

Guevara, T. (2012). *Configuraciones Urbanas Contemporáneas en Zonas Sísmicas.* Caracas: Fondo Editorial Sidetur y Facultad de Arquitectura Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela.

Günay, M. S., & Mosalam, K. M. (2010). *Structural Engineering Reconnaissance of the April 6, 2009, Abruzzo, Italy, Earthquake, and Lessons Learned - PEER Report 2010/105.* Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center.

Haldar, P., Singh, Y., & Paul, D. (2013). Identification of seismic failure modes of URM infilled RC frame buildings. *Engineering Failure Analysis*(33), 97–118.

Hashemi, A., & Mosalam, K. M. (2007). *Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Including Effects of Masonry Infill Walls. PEER Report 2007/100.* Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center / College of Engineering University of California.

Kaushik, H. B., Rai, D. C., & Jain, S. K. (November de 2006). Code Approaches to Seismic Design of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames: A State-of-the-Art Review. *Earthquake Spectra, 22*(4), 961-983.

López, O. (2014). *Guía para la Evaluación de Edificaciones Existentes con Fines de Adecuación Sísmica.* Caracas: CAF-banco de desarrollo de América Latina.

Moehle, J. P., Hooper, J. D., & Lubke, C. D. (2008). *Seismic design of reinforced concrete special moment frames: a guide for practicing engineers. NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 1.* Gaithersburg: NEHRP Consultants Joint Venture, a partnership of the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, for the National Institute of Standards and Technology.

Mosalam, K. M., & Günay, S. (2015). Progressive Collapse Analysis of RC Frames with URM Infill Walls Considering In-Plane/Out-of-Plane Interaction. *Earthquake Spectra, 31*(2), 921-943.

Murty, C., Brzev, S., Faison, H., Comartin, C. D., & Irfanoglu, A. (2006). *At Risk: The Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Buildings with Masonry Infill Walls. World Housing Encyclopedia.* Oakland, California: Earthquake Engineering Research Institute.

Pampanin, S. (June de 2006). Controversial Aspects in Seismic Assessment and Retrofit of Structures in Modern Times: Understanding and Implementing Lessons from Ancient Heritage. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 39*(No. 2), 120-123.

Paulay, T., & Priestley, M. J. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings.* USA: John Wiley & Sons, INC.

Pérez Gavilán, J. (Ed.). (2012). *Guía para el Análisis de Estructuras de Mampostería.* Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural - CONAVI - CONACYT.

Saatcioglu, M., Mitchell, D., Tinawi, R., Gardner, N., Gillies, A., Ghobarah, A., . . . Can, D. (2001). The August 17, 1999, Kocaeli (Turkey) earthquake — damage to structures. *Canadian Journal of Civil Engineering, 28*, 715-737.

Searer, G., & Fierro, E. (2004). Problemas endémicos en la práctica actual del diseño sísmico en Venezuela. *Boletín Técnico IMME, 42*(1), 50-63.

Semnani, S. J., Rodgers, J. E., & Burton, H. V. (2014). *Conceptual Seismic Design Guidance for New Reinforced Concrete Framed Infill Buildings.* Berkeley: GeoHazards International, the Earthquake Engineering Research Institute, and the Thornton Tomasetti Foundation.

Tasligedik, A., Pampanin, S., & Palermo, A. (2011). Damage Mitigation Strategies of 'Non-Structural' Infill Walls: Concept and Numerical-Experimental Validation Program. *Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society.* Auckland, New Zealand.

Torrisi, G., Crisafulli, F., & Pavese, A. (2012). An innovative Model for the In-Plane Nonlinear Analysis of Confined Masonry and Infilled Frame Structures. *15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon.

Urich, A. (2017). Muisne, Ecuador 2016: Once and Again Relearning about the Role of the Miscalled "Non-Structural" Masonry Walls. *16th World Conference on Earthquake Engineering*. Santiago Chile.

Urich, A., & Beauperthuy, J. L. (2013). Desempeño Sismorresistente de Edificios Típicos Venezolanos ¿Son Realmente Las Paredes Componentes No Estructurales? *Gaceta Técnica* (10), 39-49.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial Generativa: durante la preparación de este trabajo se utilizó la herramienta Google Gemini con el único propósito de revisar la redacción, mejorar la fluidez lingüística y optimizar la estructura gramatical del manuscrito original. El autor declara que la IA no se utilizó para la generación de contenido técnico, análisis de datos, interpretación de resultados ni para la formulación de las conclusiones, asumiendo la total responsabilidad por la integridad y precisión del contenido publicado.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/177
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 231 – 246

LOS TERREMOTOS DEL 24 DE JUNIO DE 2026 EN VENEZUELA. REVISIÓN DE LA FUENTE SÍSMICA, EFECTOS DE CAMPO CERCANO, RESPUESTA DE SITIO Y LECCIONES PARA LA NORMATIVA SISMORRESISTENTE(*)

Carlos GENATIOS [1,2,3]
Marianela LAFUENTE [1,2,4]

RESUMEN

Los terremotos del 24 de junio de 2026 plantean una cuestión central para la ingeniería sísmica venezolana: cómo interpretar una secuencia en la que magnitud, proximidad a la fuente, poca profundidad, extensión de ruptura, directividad, condiciones locales del suelo y la ocurrencia de dos eventos mayores separados por pocos segundos actuaron de manera combinada. En estructuras próximas a fallas extensas, la distancia mínima a la superficie de ruptura, la dirección de propagación, la distribución del deslizamiento y las características de los pulsos pueden ser tan importantes como la magnitud o la distancia epicentral.

La evolución de las soluciones del U.S. Geological Survey (USGS) ilustra esta complejidad. Mientras el evento Mw 7,2 permaneció asociado al sector oriental de San Felipe, la solución revisada del Mw 7,5 fue desplazada significativamente hacia el este, hasta localizarse aproximadamente 17 km al oeste de Catia La Mar. La incorporación de información adicional, incluyendo observaciones InSAR de NISAR, permitió refinar el modelo de falla finita, particularmente en el tramo oriental de la ruptura.

Este trabajo examina los efectos de campo cercano, la directividad de ruptura, los pulsos de velocidad, el desplazamiento tectónico permanente, la direccionalidad de las componentes horizontales y la posible carga secuencial asociada a dobletes. También revisa la Norma Venezolana COVENIN 1756-1:2019 y su tratamiento de la proximidad a fallas, la microzonificación y los estudios especiales de amenaza.

A partir de las experiencias de Valdivia, Northridge, Kobe, Chi-Chi y Türkiye, se propone una agenda de revisión para Venezuela que incluya criterios explícitos para estudios de campo cercano, uso de distancia a la ruptura, actualización de mapas de fallas activas, análisis probabilístico y por escenarios, reglas para selección de registros con pulsos, fortalecimiento de la microzonificación, evaluación de la componente vertical e instrumentación sísmica. La ausencia de registros locales de movimiento fuerte en 2026 limita la capacidad de aprendizaje y refuerza la necesidad de reconstruir una red sismológica nacional.

ABSTRACT

The june 24, 2026 earthquakes in Venezuela: Review of the seismic source, near-fault effects, site response, and lessons for seismic design standards

The earthquakes of June 24, 2026 raise a central question for Venezuelan earthquake engineering: how should a sequence be interpreted when magnitude, source proximity, shallow depth, rupture extent, directivity, local soil conditions, and two major events separated by only a few tens of seconds acted in combination? For structures located near long faults, minimum distance to the rupture surface, rupture propagation direction, spatial slip distribution, and pulse characteristics may be as important as magnitude or epicentral distance.

The evolution of the U.S. Geological Survey (USGS) solutions illustrates this complexity. While the Mw 7.2 event remained associated with the area east of San Felipe, the revised Mw 7.5 solution was shifted substantially eastward and is currently located approximately 17 km west of Catia La Mar. The incorporation of additional information, including NISAR InSAR observations, enabled refinement of the finite-fault model, particularly along the eastern portion of the rupture.

This study examines near-fault effects, rupture directivity, velocity pulses, permanent tectonic displacement, horizontal ground-motion directionality, and the potential effects of sequential loading associated with earthquake doublets. It also reviews the Venezuelan seismic standard COVENIN 1756-1:2019 and its treatment of fault proximity, seismic microzonation, and special hazard studies.

Drawing on the experiences of Valdivia, Northridge, Kobe, Chi-Chi, and Türkiye, the paper proposes a revision agenda for Venezuela that includes explicit criteria for near-fault studies, use of rupture distance, updated active-fault maps, probabilistic and scenario-based analyses, rules for selecting pulse-like records, strengthened seismic microzonation, evaluation of the vertical ground-motion component, and improved seismic instrumentation. The absence of local strong-motion recordings from the 2026 earthquakes limits the ability to fully learn from this exceptional sequence and reinforces the need to rebuild a national accelerograph network.

[1] Profesor Titular, Universidad Central de Venezuela.
[2] Individuo de Número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.
[3] Director of Engineering, Technology & Design, Miami Dade College.
[4] Miembro del Comité Directivo de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.

Palabras clave: Venezuela; terremotos de 2026; La Guaira; San Sebastián; campo cercano; directividad de ruptura; pulsos de velocidad; doblete sísmico; microzonificación; COVENIN 1756-1:2019; diseño sismorresistente.
Keywords: Venezuela; 2026 earthquakes; La Guaira; San Sebastián; near-fault effects; rupture directivity; velocity pulses; earthquake doublet; seismic microzonation; COVENIN 1756-1:2019; seismic-resistant design.

(*) Nota: Este artículo incorpora información pública y literatura técnica disponible hasta el 2 de septiembre de 2026. Los productos sismológicos de un terremoto grande pueden cambiar conforme se incorporan fases sísmicas revisadas, modelos de momento, datos geodésicos e InSAR y modelos de falla finita.

1. Introducción: por qué este terremoto obliga a mirar más allá de la magnitud

La ingeniería sísmica suele comenzar con una pregunta aparentemente simple: cuál fue la magnitud del terremoto y a qué distancia ocurrió. Para el doblete venezolano del 24 de junio de 2026 esa formulación es insuficiente. Dos eventos de gran magnitud ocurrieron en un intervalo muy corto, afectaron un sistema de fallas de cientos de kilómetros de extensión regional y produjeron una distribución de daños cuya severidad en La Guaira y Caracas llamó la atención desde las primeras horas. En una secuencia así, la noción de un único epicentro como centro geométrico del problema puede inducir a interpretaciones engañosas. Un terremoto de Mw 7,5 no es una fuente puntual: la ruptura ocurre a lo largo de una superficie extensa, el deslizamiento no es uniforme y la energía no se irradia de la misma manera en todas las direcciones.

Este artículo se concentra en la demanda sísmica y sus implicaciones normativas. No pretende sustituir los estudios forenses de edificios, puentes, sistemas portuarios, aeropuertos o redes de servicios. Tampoco atribuye cada colapso a un pulso de directividad. La respuesta de una estructura depende de su tipología, materiales, detalles del diseño, deterioro, modificaciones, irregularidades, cimentación y suelo. El objetivo es más acotado: establecer qué características de la fuente y del movimiento son suficientemente importantes para que Venezuela las incorpore de manera explícita en la investigación posterior al desastre y en la revisión de sus normas.

Hay tres razones para hacerlo. La primera es científica. La solución del USGS para el evento Mw 7,5 cambió sustancialmente entre los productos rápidos y el catálogo revisado. Comprender por qué cambió es esencial para no construir conclusiones permanentes sobre datos provisionales. La segunda es ingenieril. Las zonas más dañadas del litoral quedaron muy cerca del epicentro revisado, en un entorno donde los efectos de campo cercano y la respuesta de depósitos aluviales profundos pueden interactuar. La tercera es institucional. La falta de registros acelerográficos locales limita la posibilidad de comparar directamente la demanda real con los espectros de diseño, por lo que cualquier reforma normativa debe distinguir entre evidencia medida, reconstrucción modelada y deducción basada en daños.

La literatura internacional muestra que los terremotos de campo cercano han provocado cambios normativos importantes. Después de Valdivia 1960, Northridge 1994 y Kobe 1995, el Uniform Building Code de 1997 introdujo factores de cercanía a falla para zonas próximas a fallas activas. Después de Chi-Chi 1999, Taiwán revisó sus procedimientos de fuerza sísmica y espectros con atención expresa al efecto cercano a falla. Nueva Zelanda mantuvo durante años un factor de cercanía, pero estudios recientes advierten que, si la directividad ya está incorporada en el modelo probabilístico de amenaza, añadir un factor adicional puede contar dos veces el mismo fenómeno (Bradley y Weatherill, 2025). Esta evolución es particularmente útil para Venezuela: una norma moderna debe reconocer el campo cercano sin volver a soluciones demasiado simplificadas.

2. Marco tectónico del norte de Venezuela

El norte de Venezuela se ubica en un límite de placas complejo entre el Caribe y Suramérica. La deformación no se concentra en una única falla continua, sino que se reparte entre sistemas de fallas activas, entre ellas Boconó, San Sebastián y El Pilar, además de estructuras asociadas y segmentos submarinos. El inventario de fallas cuaternarias elaborado por Beltrán (Beltrán, 1993) y Audemard et al. (2000) y las síntesis neotectónicas posteriores documentan un régimen dominante de transpresión y deslizamiento lateral dextral a lo largo de buena parte del margen septentrional del país. En términos de amenaza, esto significa que el corredor densamente urbanizado del centro norte venezolano convive con fuentes capaces de generar terremotos grandes y rupturas longitudinalmente extensas.

La falla de San Sebastián tiene especial importancia para el litoral central. Su geometría costera y parcialmente submarina hace que una ruptura de rumbo pueda transcurrir muy cerca de centros urbanos, del aeropuerto de Maiquetía, del puerto de La Guaira y del borde norte de Caracas. Esa relación espacial es distinta de la que se inferiría si se representara el terremoto únicamente mediante un punto ubicado en Yaracuy. Cuando una falla de rumbo se extiende paralela a una costa urbanizada, múltiples comunidades pueden quedar a pequeña distancia de distintos segmentos de la misma ruptura, aun cuando estén separadas por decenas o centenares de kilómetros a lo largo del rumbo.

También existen antecedentes históricos de terremotos grandes en el mismo sistema. El terremoto de 1900 frente al centro norte venezolano ha sido asociado en la literatura con la falla de San Sebastián o estructuras vecinas, y el terremoto de 1812 se ha interpretado como una secuencia compleja con más de una ruptura. Estos antecedentes no implican que el

evento de 2026 sea una repetición exacta, pero sí muestran que la amenaza de rupturas grandes y múltiples no puede considerarse una anomalía ajena al marco tectónico venezolano. La cartografía de fallas activas, por tanto, debe ser un insumo normativo vivo, actualizado con geología, paleosismología, geodesia y sismología, no un mapa estático que se revisa únicamente después de una catástrofe.

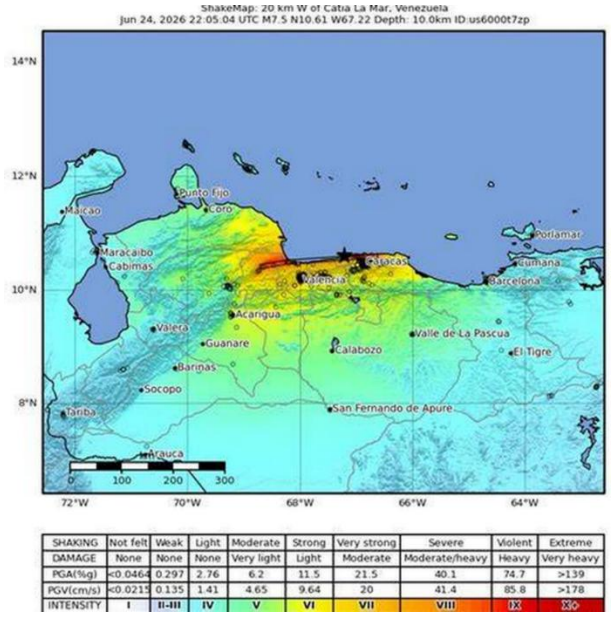
El trabajo de Urbani Patat (2026), publicado por la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, es particularmente útil para visualizar la diversidad de localizaciones epicentrales difundidas por USGS, GFZ y EMSC durante la fase inicial del desastre. El propio propósito de esa recopilación es cartográfico y cauteloso: superponer soluciones de agencias sobre la geología regional sin forzar una conclusión prematura. Esa cautela es metodológicamente correcta y ofrece una enseñanza para la gestión de emergencias: los mapas rápidos son indispensables, pero deben llevar fecha, versión y nivel de revisión.

3. La secuencia del 24 de junio de 2026

3.1. Dos eventos mayores con separación de decenas de segundos

El USGS caracteriza la secuencia como un doblete. Su producto general para el evento Mw 7,2 indica que ese sismo fue el primer evento y que fue seguido por el Mw 7,5 apenas decenas de segundos después. Distintos productos del propio USGS han expresado el intervalo como 39 segundos y, en una actualización posterior, como 32 segundos. La diferencia refleja cambios de origen y convenciones entre productos, por lo que una redacción técnica prudente es hablar de aproximadamente medio minuto o, cuando se use una cifra exacta, identificar el producto y la versión que la sustenta (USGS, 2026a) (fig. 1)

Desde el punto de vista estructural, la proximidad temporal distingue un doblete de una secuencia convencional en la que una réplica importante ocurre horas o días después. En treinta o cuarenta segundos no existe tiempo para inspeccionar, evacuar de forma organizada, apuntalar, interrumpir servicios o evaluar daños. El segundo evento actúa sobre estructuras que pueden haber perdido rigidez, acumulado deformación inelástica, abierto juntas, dañado tabiques, desplazado apoyos o reducido resistencia durante el primero. La magnitud similar de ambos eventos aumenta el interés de esta hipótesis de carga secuencial. Sin embargo, la magnitud por sí sola no demuestra qué nivel de daño acumuló cada estructura; esa cuestión requiere análisis no lineales y reconstrucción de los dos movimientos en cada sitio.



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0464	0.297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Figura 1. ShakeMap del evento Mw 7,5 del 24 de junio de 2026, con intensidades estimadas y distribución espacial del sacudimiento. Fuente: U.S. Geological Survey, ShakeMap del evento us6000t7zp, consultado en septiembre de 2026

3.2. Parámetros esenciales y estado de revisión

Tabla 1. Síntesis de parámetros y cautelas de interpretación. Fuente principal: productos USGS de los eventos us6000t7zc y us6000t7zp, consultados en 2026. Las denominaciones espaciales corresponden al estado revisado del catálogo para distinguirlas de las primeras soluciones difundidas en junio.

Aspecto	Evento Mw 7,2	Evento Mw 7,5	Comentario de uso ingenieril
Rol en la secuencia	Primer evento, precursor del doblete	Evento principal del doblete	No debe asumirse que el segundo fue una réplica ordinaria de baja magnitud.
Magnitud preferida USGS	Mw 7,2	Mw 7,5	Magnitudes comparables, con potencial de demanda secuencial.
Localización revisada	≈20 km E de San Felipe	≈17 km O de Catia La Mar	La solución del Mw 7,5 cambió sustancialmente respecto de las primeras horas.
Profundidad reportada en productos tempranos/revisados	del orden de 20 km en soluciones ampliamente citadas	≈10 km	Ambos son sismos corticales relativamente someros; la profundidad por sí sola no define el campo cercano.
Intervalo		≈30-40 s después del primero	USGS ha mostrado 39 s en un encabezado y 32 s en texto actualizado.
PAGER	Rojo	Rojo	El nivel PAGER expresa expectativa de pérdidas, no un parámetro de diseño estructural.

La situación puede considerarse todavía más compleja al verificar que el sismo de magnitud Mw 7.5 libera 2.8 veces más energía que el de magnitud Mw 7.2, y lo que convierte el problema en algo todavía más crítico, es la localización del segundo evento, muy cercano a las zonas pobladas de La Guaira, y con una profundidad muy somera, de unos 10 km.

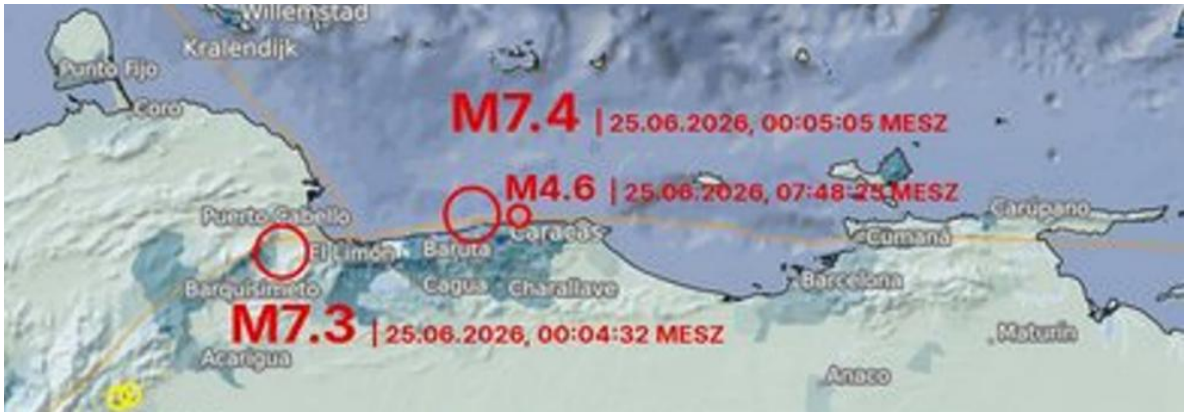
Los informes técnicos rápidos elaborados durante junio y julio trataron razonablemente la secuencia con los datos disponibles en ese momento. El EERI publicó el 30 de junio un VERT Report de fase 1 basado en información pública de las primeras 48 horas y con verificación de campo limitada. La Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica publicó en julio un reporte extenso de daños que también utilizó las coordenadas preliminares del USGS vigentes entonces. El hecho de que estos documentos conserven una localización temprana no invalida sus observaciones de daño, pero sí obliga a separar dos capas de información: la evidencia de campo y la interpretación sismológica provisional (EERI, 2026; Méndez Galindo et al., 2026).

El patrón espacial estimado de intensidades para el evento Mw 7,5 se aprecia en la Figura 1. Aunque se trata de un producto operacional, resulta útil para visualizar por qué la franja costera entre Caracas y La Guaira quedó en el centro de la discusión técnica.

3.3 Los análisis presentados por la agencia alemana GFZ

Un aspecto particularmente relevante de estos terremotos fue la rapidez con la que el GFZ Helmholtz Centre for Geosciences de Potsdam, Alemania, logró reconocer la complejidad del proceso de ruptura. En un informe publicado el 26 de junio de 2026, apenas dos días después de los eventos, el GFZ señaló que los dos sismos principales, separados por solo 39 segundos, podían interpretarse físicamente como dos subrupturas de un mismo proceso de ruptura prácticamente continuo. La institución estimó magnitudes Mw 7,3 y Mw 7,4 y localizó la segunda subruptura aproximadamente 160 km al este de la primera, más próxima a Caracas. También advirtió que la superposición de las formas de onda generadas por ambas subrupturas hacía particularmente compleja la evaluación sismológica y contribuía a explicar las diferencias iniciales entre las soluciones publicadas por distintos servicios internacionales. El GFZ propuso, con carácter de hipótesis preliminar, que la primera ruptura pudo haberse iniciado hacia el extremo nororiental de la falla de Boconó y que la segunda ocurrió más al este, asociada al sistema de la falla de San Sebastián. Esta capacidad de identificar rápidamente un proceso de ruptura complejo pone de manifiesto la importancia de las redes sismológicas globales y del análisis casi en tiempo real para comprender terremotos poco convencionales y orientar las evaluaciones posteriores de amenaza, directividad y distribución espacial de los efectos.(GFZ Helmholtz Centre for Geosciences. 2026) (fig. 2)

.



.*Figura 2: localización de epicentros (GFZ German Research Centre for Geosciences, 2026)*

4. Lo que dijo el USGS inicialmente y lo que cambió

4.1. La solución rápida: San Felipe-Yumare

Durante las primeras horas, los productos automáticos y revisiones rápidas del USGS situaron el evento Mw 7,2 en las cercanías de San Felipe y el Mw 7,5 en el entorno de Yumare, con ambos puntos relativamente próximos entre sí. Capturas y productos conservados de esa fase muestran para el Mw 7,5 descripciones como 23 km o 28 km al sureste de Yumare, con profundidad cercana a 10 km. Estas soluciones dominaron la comunicación internacional inicial y, por ello, fueron reproducidas por informes humanitarios, medios, equipos de reconocimiento y documentos técnicos publicados pocos días después.

Esa primera interpretación era comprensible. El segundo terremoto comenzó cuando las ondas del primero todavía atravesaban las fallas sísmicas. El solapamiento dificulta identificar con precisión las primeras llegadas de la segunda ruptura. En un terremoto grande de rumbo, además, el punto de inicio, el centroide del momento y la zona de máximo deslizamiento pueden encontrarse muy separados. Si la red local es escasa o está degradada, la resolución empeora. Por eso, un catálogo de emergencia debe verse como un producto dinámico, no como una sentencia geológica definitiva.

4.2. La revisión: el Mw 7,5 frente al litoral central

La localización preferida del Mw 7,5 fue posteriormente revisada por el USGS y el catálogo pasó a identificar el evento como aproximadamente 17 km al oeste de Catia La Mar, con coordenadas cercanas a 10,622° N y 67,194° O y profundidad de 10 km. La Red Sísmica de Puerto Rico reproduce esa solución para el evento de las 22:05 UTC. La comparación con las primeras localizaciones cercanas a Yumare implica un desplazamiento del punto preferido del orden de 140 km hacia el este. El cambio es suficientemente grande para modificar de forma radical la intuición basada en distancia epicentral respecto de La Guaira (USGS, 2026b; Red Sísmica de Puerto Rico, 2026).

La solución fue actualizada varias veces durante julio y agosto. Más importante que el número de revisiones es la razón física: las observaciones geodésicas y de deformación superficial mostraron una ruptura mucho más extensa hacia el este de lo que sugería una lectura puntual de las primeras soluciones. NASA informó que NISAR observó desplazamiento especialmente intenso cerca de Caracas y La Guaira, con movimientos horizontales de hasta aproximadamente 60 cm al sur de un segmento oriental, y que esos datos fueron utilizados por el USGS para refinar el modelo de falla finita (NASA Earth Observatory, 2026).

Este episodio ilustra por qué la ingeniería no debe confundir hipocentro con fuente. El punto de origen indica dónde comienza o dónde el algoritmo localiza preferentemente la ruptura, mientras que el modelo de falla finita describe una superficie donde el deslizamiento varía en el espacio y el tiempo. Para evaluar demanda en una estructura situada junto a una falla larga interesa, entre otras variables, la distancia mínima a la ruptura (Rrup), la distancia a la proyección superficial (Rjb), la posición respecto del frente de ruptura y la dirección de propagación. Dos edificios con la misma distancia al epicentro pueden experimentar movimientos muy diferentes si uno se encuentra en la dirección de propagación y otro detrás del frente de ruptura.

Los datos satelitales aportan una pieza independiente de evidencia. La Figura 3 muestra el patrón de desplazamiento superficial derivado de NISAR, cuya lectura fue clave para refinar la interpretación de la ruptura y entender la severidad del daño en La Guaira y el entorno de Caracas.

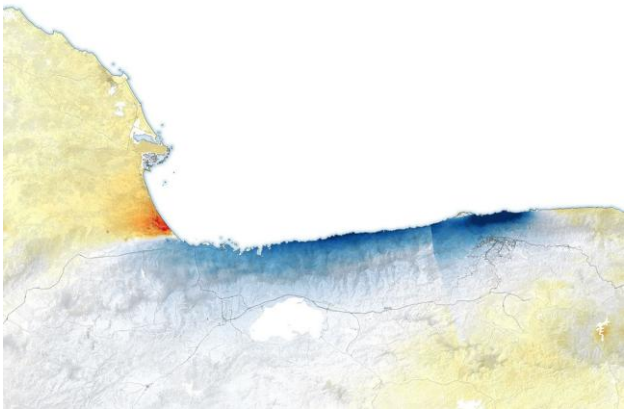


Figura 3. Desplazamiento superficial observado tras la secuencia del 24 de junio de 2026, derivado de datos NISAR. Fuente: NASA Earth Observatory, mapa de Lauren Dauphin con datos provistos por Eric Fielding y procesados por el equipo científico de NISAR en el Jet Propulsion Laboratory, publicado el 10 de julio de 2026.

4.3. El cambio del USGS no debe narrarse como una contradicción, sino como una revisión

En la discusión pública puede resultar tentador presentar la relocalización como un error inicial de gran magnitud. Esa formulación es incompleta. Los sistemas de respuesta rápida están diseñados para entregar información útil en minutos y después mejorarla. Para un evento compuesto por dos terremotos grandes casi superpuestos, la incertidumbre de origen es mayor de lo habitual. El procedimiento científicamente correcto es conservar la trazabilidad: fecha y hora de cada solución, agencia, tipo de producto, estado automático o revisado y parámetros utilizados.

La consecuencia para publicaciones académicas es directa. Un capítulo o artículo que cite "USGS 2026" sin registrar el identificador del evento y la fecha de consulta puede mezclar versiones incompatibles. En este documento se usan los identificadores us6000t7zc para Mw 7,2 y us6000t7zp para Mw 7,5, y se distingue la solución preliminar de la revisada. Para bases de datos nacionales convendría adoptar el mismo criterio: nunca sobrescribir silenciosamente el valor anterior, sino conservar un historial de versiones y un campo que indique qué solución se considera preferida.

5. Lo que se ha dicho desde Venezuela y en la ingeniería regional

En Venezuela, la discusión técnica se desarrolló en paralelo con la emergencia. La Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH) publicó una recopilación geocientífica de Franco Urbani Patat que superpone las localizaciones de distintas agencias sobre cartografía geológica y evita forzar conclusiones mientras las soluciones estaban cambiando. Este enfoque es valioso porque permite mostrar la incertidumbre y, al mismo tiempo, recordar que la relación entre epicentros y fallas debe evaluarse dentro de una cartografía regional más amplia (Urbani Patat, 2026). Michael Schmitz, también

miembro de la ANIH, presentó en una conferencia, a menos de una semana de ocurrido el evento, consideraciones sobre las características, localización y nomenclatura del sismo, que contribuyeron a la comprensión del fenómeno.

Otro componente del debate se refiere a la ausencia de registros acelerográficos locales suficientes. El informe de Bernal y Cardona (2026) parte expresamente de esa limitación y desarrolla una modelación física del movimiento fuerte para el segundo terremoto. Los autores generan acelerogramas sintéticos para Catia La Mar, La Guaira y Caraballeda, y exploran la amplificación por depósitos aluviales. Sus resultados muestran pulsos de velocidad y una demanda importante en periodos intermedios y largos, coherente con una ruptura con directividad hacia el este. Debe insistirse en la palabra "sintéticos": son reconstrucciones técnicamente informadas, no acelerogramas medidos en esas localidades. Su valor es grande para plantear hipótesis y escenarios, pero no deben citarse como medición directa.

El reporte de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica constituye otra referencia útil porque integra sismología, geotecnia, estructuras e infraestructura. Al haber sido preparado en julio, conserva las coordenadas preliminares del segundo evento cerca de Yumare. Esto ofrece un ejemplo concreto de cómo una publicación técnicamente seria puede quedar desactualizada en un parámetro sismológico mientras siguen siendo útiles sus observaciones de daños y recomendaciones sobre instrumentación, microzonificación, inspección y resiliencia (Méndez Galindo et al., 2026).

La situación también revaloriza investigaciones venezolanas anteriores. Ambrosio (2002) y Romero et al. (2006) caracterizaron los conos aluviales entre La Guaira y Tanaguarena mediante refracción sísmica, gravimetría y ruido ambiental. Encontraron niveles freáticos del orden de 5 a 10 m, profundidades máximas del basamento de alrededor de 180 m en La Guaira, 290 m en Macuto y 450 m en Caraballeda, y periodos predominantes generalmente entre 0,9 y 1,8 s. (Schmitz, M., 2026). Esos datos, publicados dos décadas antes del terremoto, muestran que la necesidad de microzonificación y análisis de respuesta de sitio no nació en 2026. El desastre puso en evidencia el costo de no convertir conocimiento existente en reglas urbanas, bases de datos y prácticas rutinarias de diseño.

La literatura sobre el terremoto de Caracas de 1967 es igualmente relevante. Seed et al. (1972) documentaron la relación entre condiciones del suelo y daño de edificios, incluyendo colapsos de edificios de 10 a 12 pisos y daños en Caraballeda. El mensaje no es que 1967 y 2026 sean movimientos equivalentes, sino que la vulnerabilidad asociada a depósitos sedimentarios y coincidencia de periodos es un problema histórico conocido. La revisión normativa posterior a 2026 debe conectar ambas escalas: fuente cercana y respuesta local del terreno.

6. Qué significa realmente "campo cercano"

6.1. Cercanía geométrica y cercanía física

El término "campo cercano" se utiliza con frecuencia como sinónimo de poca distancia al epicentro. En ingeniería sísmica esa simplificación es peligrosa. Para una fuente finita de gran tamaño, la distancia más pertinente puede ser la mínima distancia a la superficie de ruptura. Un punto urbano puede estar a decenas de kilómetros del hipocentro y, sin embargo, quedar a pocos kilómetros de un segmento que rompió más tarde. Por el contrario, un sitio cercano al epicentro puede estar fuera del corredor de mayor directividad.

La profundidad somera aumenta la probabilidad de que la ruptura se aproxime a la superficie y, por tanto, de que existan zonas urbanas a pequeña distancia de la fuente. Pero poca profundidad no equivale automáticamente a un pulso. Para que aparezca una señal de directividad fuerte deben combinarse la geometría de la falla, la dirección y velocidad de propagación, la posición del sitio y la coherencia de la radiación. La literatura distingue entre proximidad a falla y movimiento *pulse-like*. Baker (2007) desarrolló un procedimiento cuantitativo para identificar pulsos en registros de velocidad precisamente porque una clasificación basada únicamente en distancia es insuficiente.

6.2. Directividad de ruptura y pulsos de velocidad

La directividad hacia adelante ocurre cuando la ruptura se propaga hacia el sitio a una velocidad comparable con la de las ondas de corte. Parte de la energía radiada en diferentes instantes llega comprimida en el tiempo y puede formar un pulso grande, especialmente en la componente aproximadamente normal a la falla. Somerville et al. (1997) mostraron que la directividad produce variaciones espaciales de amplitud y duración que no están capturadas completamente por una relación de atenuación basada solo en magnitud y distancia. Bray y Rodriguez-Marek (2004) describieron estos movimientos mediante amplitud, periodo del pulso y número de pulsos significativos, resaltando la demanda severa que pueden imponer a estructuras cercanas a la falla.

El parámetro más intuitivo es el periodo del pulso, Tp. Si Tp se aproxima al periodo fundamental de una estructura o a periodos alcanzados durante la degradación no lineal, el desplazamiento y las demandas de ductilidad pueden crecer. Para edificios de mediana altura, puentes y sistemas aislados, los periodos de uno a varios segundos son particularmente relevantes. Esto conecta la fuente con el sitio: los depósitos sedimentarios de La Guaira muestran periodos predominantes que también se ubican en el rango aproximado de un segundo o más. Una evaluación completa debe estudiar si fuente, suelo y estructura se alinearon en bandas de periodo desfavorables, en lugar de atribuir el daño a un único mecanismo.

Los modelos modernos de directividad no son uniformes. Spudich et al. (2014) compararon cinco modelos desarrollados en el marco NGA-West2 y mostraron diferencias importantes

en la distribución espacial y magnitud de la amplificación. Esta dispersión desaconseja el uso de una única corrección determinista. En la misma línea, Poulos y Miranda (2022) mostraron que la respuesta espectral horizontal puede variar significativamente con la orientación del movimiento. Por ello, una norma moderna debería considerar la directividad y la direccionalidad mediante varios modelos, ponderaciones o análisis de sensibilidad, especialmente para estructuras importantes.

6.3. Fling-step, desplazamiento permanente y componente vertical

Los movimientos sísmicos, y especialmente los de campo cercano, pueden incluir un desplazamiento tectónico permanente del terreno, conocido en la literatura como *fling-step*. Este fenómeno se origina en el desplazamiento irreversible asociado con la ruptura de la falla y es distinto de la directividad de ruptura, aunque ambos efectos pueden coexistir. El desplazamiento tectónico permanente puede manifestarse mediante un pulso de velocidad predominantemente unidireccional que conduce a un desplazamiento final no nulo del terreno, condición que puede ser especialmente relevante para puentes, tuberías, muelles, juntas, apoyos y otros sistemas con capacidad limitada para acomodar grandes desplazamientos permanentes. En el litoral, donde la ruptura y la deformación del terreno pueden desarrollarse en proximidad a infraestructura crítica, este efecto merece una evaluación específica dentro de los estudios de amenaza y diseño sísmico (Kamai et al., 2014).

La componente vertical también puede ser relevante cerca de la fuente. En códigos ordinarios suele recibir un tratamiento simplificado respecto de las componentes horizontales, pero en instalaciones críticas, puentes, elementos en voladizo, conexiones y equipos sensibles puede afectar fuerzas axiales, fricción y capacidad de apoyo. El terremoto de 2026 y su impacto en La Guaira, ofrece una razón para revisar si se cuándo debe exigirse explícitamente análisis tridimensional con historias verticales compatibles con el peligro del sitio.

Tabla 2. Fenómenos que deben distinguirse al hablar de campo cercano. Elaboración propia a partir de Somerville et al. (1997), Bray y Rodriguez-Marek (2004), Baker (2007) y Spudich et al. (2014).

Fenómeno	Origen físico	Efecto ingenieril típico	Cómo debería evaluarse
Directividad hacia adelante	Propagación de la ruptura hacia el sitio	Pulso intenso, duración efectiva concentrada, polarización	Modelo de fuente finita, posición del sitio, modelos de directividad y registros compatibles.
Pulso de velocidad	Coherencia temporal de la radiación	Grandes desplazamientos y demandas de ductilidad en torno a Tp	Clasificación de registros, periodo de pulso, análisis no lineal.
Fling-step	Desplazamiento tectónico permanente	Desplazamientos residuales, demanda en juntas y apoyos	Registros de movimiento fuerte que preserven el desplazamiento tectónico permanente, verificando la consistencia entre aceleración, velocidad y desplazamiento.
Componente vertical	Radiación cercana a fuente y geometría	Variación de fuerzas axiales, apoyo y fricción	Análisis 3D en estructuras críticas, criterios V/H apropiados.
Carga secuencial	Dos eventos fuertes en intervalo corto	Segundo evento sobre rigidez/resistencia degradada	Análisis no lineal secuencial con dos historias y estado residual.
Efectos de sitio	Contraste de impedancia y cuencas sedimentarias	Amplificación, prolongación, resonancia	Microzonificación, perfiles Vs, análisis de respuesta de sitio.

7. La combinación particular de La Guaira: fuente cercana y depósitos aluviales profundos

La Guaira constituye un laboratorio natural difícil y, al mismo tiempo, una zona urbana de altísima exposición. La franja entre la montaña y el mar está construida sobre conos aluviales y depósitos costeros de gran espesor. La geomorfología que permitió crear superficies relativamente planas para urbanizar es precisamente la que produce fuertes contrastes de impedancia y cuencas sedimentarias profundas. Cuando una ruptura importante ocurre cerca de esos depósitos, el movimiento que llega desde la fuente puede ser modificado en amplitud, duración y contenido frecuencial antes de alcanzar las edificaciones.

Romero et al. (2006) documentaron que el basamento se inclina fuertemente hacia el norte y que los depósitos alcanzan cientos de metros de espesor. Los periodos de vibración del terreno entre 0,9 y 1,8 s son relevantes para edificios intermedios. Esto no significa que todos los edificios de ese rango deban entrar en resonancia, porque el periodo estructural varía con altura, rigidez, sistema resistente, mampostería y daño. Sin embargo, identifica una banda que debe estudiarse con especial atención en la reconstrucción del movimiento y en la microzonificación.

El nivel freático somero introduce otra dimensión. Suelos granulares saturados pueden ser susceptibles a licuación y a desplazamiento lateral, especialmente cerca de la costa, canales, muelles y rellenos. Daños geotécnicos observados después del

terremoto deben ser diferenciados de la respuesta puramente estructural. Una cimentación puede desplazarse o perder soporte aunque la superestructura haya sido diseñada correctamente, y una estructura vulnerable puede fallar con o sin licuación. La investigación forense debe conservar ambas hipótesis hasta contar con sondeos, ensayos y geometría de deformaciones.

La experiencia de 1967 muestra el valor de estudiar el conjunto suelo-estructura. Seed et al. (1972) relacionaron daños severos con combinaciones desfavorables de suelo y edificio en Caracas. Ese antecedente es esencial para 2026 porque evita interpretar el campo cercano como explicación única. La demanda que finalmente alcanza una estructura es el producto de la fuente, la propagación regional, la respuesta de cuenca, la estratigrafía local y la interacción suelo-cimentación-estructura. La norma debe organizar esa cadena, no sustituirla por un solo factor.

8. El doblete como problema de carga secuencial

La ingeniería normativa suele definir acciones sísmicas mediante un terremoto de diseño o un conjunto de registros independientes. Un doblete fuerte introduce una pregunta distinta: qué ocurre cuando un segundo movimiento severo llega antes de que el sistema haya recuperado un estado elástico o estable. Esta condición puede importar en edificios con degradación cíclica, marcos de concreto con daño en nudos o columnas, mampostería de relleno que pierde rigidez, disipadores que acumulan demanda, aisladores con desplazamiento residual y puentes con apoyos parcialmente desplazados.

El efecto no debe generalizarse sin evidencia. Algunas estructuras pueden completar el primer movimiento con daño mínimo y responder al segundo casi como si fuera un evento aislado. Otras pueden experimentar una reducción sensible de rigidez o resistencia. Para responder a esta pregunta se requieren pares de historias temporales que representen ambos sismos en el mismo sitio y respeten el intervalo real entre ellos. A pesar de haber tenido una red sismológica de importancia en 2000 y 2001, Venezuela no dispone hoy de una red adecuada y suficientemente densa, que pueda generar acelerogramas, y que permita hacerlo directamente, por lo que la investigación deberá combinar señales sintéticas, registros regionales y restricciones geodésicas.

Desde el punto de vista normativo, no parece prudente imponer de inmediato un factor universal por doblete. La evidencia internacional sobre secuencias mainshock-aftershock muestra una fuerte dependencia del daño inicial y de la relación entre intensidades. Una vía más razonable sería exigir un análisis de sensibilidad para instalaciones esenciales y sistemas de baja redundancia ubicados muy cerca de fallas capaces de producir rupturas segmentadas, mientras se desarrolla investigación nacional específica. En estructuras ordinarias, el aprendizaje del doblete puede incorporarse indirectamente mediante mayores exigencias de ductilidad real, continuidad, redundancia, inspección y desempeño residual. Esto establecería un factor de protección que procuraría cubrir la incertidumbre, especialmente en una normativa provisional que surgiría como respuesta al sismo de junio.

9. Qué contiene hoy la COVENIN 1756-1:2019 respecto de la cercanía de fallas

La COVENIN 1756-1:2019 representa un avance significativo respecto de la generación de 2001. Define la amenaza en roca mediante parámetros de variación continua, amplía la caracterización de sitio y requiere microzonificación en determinadas condiciones. Es importante no afirmar que la norma "no considera" la cercanía de fallas. El texto consultado establece que los estudios especiales de amenaza deben utilizar modelos apropiados de fuentes sismogénicas y relaciones de atenuación que tomen en cuenta los efectos de la cercanía de las fuentes. Además, el capítulo sobre la amenaza contempla revisión especializada para proyectos por cercanía de fallas (COVENIN, 2019).

La norma también reconoce la microzonificación como mecanismo capaz de sustituir parámetros generales por valores locales cuando existe un estudio avalado por la autoridad competente. Conceptualmente, esta es la vía correcta para regiones como Caracas y La Guaira, donde la variabilidad espacial del subsuelo no puede representarse adecuadamente con una sola clase de sitio. El problema es tanto técnico como institucional: disponer de un estudio no garantiza que se convierta en ordenanza, mapa oficial, base de datos interoperable y requisito exigible en permisos de construcción.

La pregunta posterior a 2026 es más específica: ¿son suficientes las reglas actuales para una ciudad situada junto a una ruptura capaz de generar directividad y pulsos? En la revisión realizada para este capítulo no se identificó, dentro del espectro prescriptivo ordinario, un factor general explícito que modifique la demanda por pulso o directividad en función de periodo y distancia de manera análoga a los factores históricos Na y Nv del UBC 1997 o al factor N(T,D) utilizado en Nueva Zelanda. Esto no demuestra una deficiencia automática. De hecho, la práctica moderna tiende a evitar factores globales cuando la amenaza específica ya incorpora directividad. La cuestión es si la norma venezolana establece con suficiente claridad cuándo un proyecto cercano a falla debe abandonar el procedimiento general y pasar a un estudio específico de fuente finita y selección de registros.

Tabla 3. Lectura de la norma vigente y preguntas de revisión. No constituye interpretación oficial de FODENORCA ni propuesta de articulado.

Tema	Tratamiento identificable en COVENIN 1756-1:2019	Pregunta que abre 2026
Amenaza sísmica	Mapas en roca y posibilidad de estudios especiales de amenaza.	¿Cuándo debe ser obligatorio un estudio específico para una falla capaz cercana?
Cercanía de fuentes	Relaciones de atenuación de estudios especiales deben tomar en cuenta cercanía.	¿Debe la nueva norma establecer criterios nacionales explícitos, basados principalmente en la distancia a la ruptura (Rrup) y en la magnitud potencial de la falla, para determinar cuándo deben aplicarse requisitos especiales de diseño por efectos de campo cercano y directividad? ¿Debe incorporarse adicionalmente la tasa de deslizamiento u otros indicadores de actividad de la falla?
Cercanía de fallas	Requisitos asociados a traza y mitigación.	¿Cómo integrar ruptura superficial, buffer cartográfico e incertidumbre de la traza con diseño estructural?
Microzonificación	Puede sustituir parámetros generales cuando está avalada.	¿Debe ser vinculante en La Guaira y actualizarse después de 2026?
Direccionalidad y pulsos	No se identificó un modificador prescriptivo general específico para pulsos en el espectro ordinario consultado.	¿Cómo incorporar directividad sin doble conteo?
Historias temporales	La norma contempla análisis dinámico y requisitos de acciones.	¿Cómo seleccionar registros pulse-like, orientar componentes y representar el doblete en instalaciones críticas?
Instrumentación	En el articulado de la norma.	¿Debe una política nacional ampliar la exigencia de colocar acelerógrafos en edificios e infraestructura estratégica?

10. Casos internacionales que cambiaron la forma de tratar el campo cercano

10.1. Northridge 1994 y el UBC 1997

El terremoto de Northridge de 1994 produjo movimientos muy fuertes en el área urbana de Los Ángeles. Estudios del USGS destacaron aceleraciones altas y pulsos de energía de periodo relativamente largo en determinadas estaciones, relacionados con la directividad de la ruptura. La experiencia de Northridge, junto con la de Kobe 1995, aceleró el reconocimiento normativo de que las zonas próximas a fallas activas podían requerir una demanda mayor que la representada por espectros regionales ordinarios.

El Uniform Building Code de 1997 incorporó factores de cercanía a falla Na y Nv. Los factores dependían del tipo de fuente y de la distancia, y podían aumentar de forma importante la demanda, especialmente la asociada a velocidad y periodos intermedios. La California Geological Survey produjo mapas de "near-source zones" para apoyar la aplicación del código. Históricamente, este fue un paso decisivo: la cercanía dejó de ser una observación cualitativa y se convirtió en un requisito de diseño.

Pero el UBC 1997 no debe copiarse literalmente en 2026. Aquellos factores fueron una solución de transición, útil para una generación normativa que disponía de modelos de amenaza menos sofisticados. Hoy pueden modelarse geometrías de falla finita, desagregar la amenaza y seleccionar historias con directividad. La enseñanza para Venezuela es el principio, no la fórmula: si una fuente cercana cambia sistemáticamente la demanda, el código debe disponer de un mecanismo explícito para capturarla.

10.2. Kobe 1995: directividad y estructura tridimensional de la cuenca

El terremoto de Hyogo-ken Nanbu, Kobe, de 1995 mostró la capacidad destructiva de movimientos cercanos a una falla en un entorno urbano y de cuenca compleja. Pitarka et al. (1998) reprodujeron mediante simulación tridimensional características del movimiento cercano a falla y mostraron la importancia de la geometría de la fuente y de la estructura geológica. Kobe es especialmente pertinente para La Guaira porque recuerda que el daño no se explica únicamente por el pulso de la fuente: los bordes de cuenca y los contrastes geológicos pueden concentrar o modificar el movimiento. En el caso que nos concierne, la respuesta dinámica de zonas aluviales con sedimentos de grandes profundidades deben incorporar en sus estudios la desembocadura del cono aluvial al mar.

10.3. Chi-Chi 1999 y la respuesta normativa de Taiwán

El terremoto de Chi-Chi de 1999 generó una extensa ruptura superficial y registros de campo cercano excepcionales. El Building Research Institute del Ministerio del Interior de Taiwán desarrolló estudios posteriores para modificar la

reglamentación sísmica, incluyendo efectos cercanos a falla, peligro uniforme y espectros de respuesta. Documentos de investigación del instituto describen la incorporación de factores y espectros vinculados a la proximidad de fuentes, así como la revisión de fuerzas sísmicas a partir de datos obtenidos después del terremoto.

La lección de Taiwán tiene dos componentes. Primero, un gran terremoto debe transformarse rápidamente en base de datos nacional: registros, daño, desplazamiento de falla, desempeño de estructuras y respuesta de suelo. Segundo, la revisión normativa debe apoyarse en ese banco de evidencia, no en impresiones. Venezuela enfrenta hoy una dificultad mayor porque carece de suficientes registros locales del movimiento fuerte. Esto hace todavía más urgente recuperar la red acelerográfica antes del próximo sismo grande.

10.4. Nueva Zelanda: de un factor prescriptivo a una amenaza que ya incorpora directividad

NZS 1170.5:2004 incorporó un factor de cercanía N(T,D) para sitios próximos a fallas mayores. El enfoque reconocía de forma explícita que el efecto dependía del periodo y de la distancia. Sin embargo, la evolución reciente ofrece una lección más sofisticada. Bradley y Weatherill (2025) explican que el modelo nacional de amenaza sísmica de Nueva Zelanda de 2022 ya considera implícitamente directividad en la amenaza base y advierten que añadir un factor independiente puede producir doble conteo. Sus análisis sugieren que una modelación explícita adicional de directividad puede producir incrementos del orden de 10% en promedio ponderado en ubicaciones propensas, con valores mayores en ciertos periodos y niveles de retorno.

Para Venezuela, esto sugiere una estrategia de dos niveles. En una fase inmediata, puede ser necesario un criterio conservador sencillo que obligue a estudios específicos cerca de fallas capaces. A mediano plazo, el objetivo debe ser integrar la directividad directamente en el modelo nacional de amenaza, modelos de movimiento apropiados y geometría de fuentes finitas. Una vez hecho eso, el código no debería añadir un multiplicador redundante.

10.5. Kahramanmaraş, Turquía 2023: un caso contemporáneo de doblete, ruptura extensa y pulsos de campo cercano

Los terremotos de Kahramanmaraş del 6 de febrero de 2023 constituyen uno de los ejemplos recientes más relevantes para comprender cómo una ruptura continental extensa puede producir demandas extraordinarias en campo cercano. La secuencia incluyó dos terremotos mayores, Mw 7,8 y Mw 7,5, asociados al sistema de falla de Anatolia Oriental. La ruptura del primer evento alcanzó aproximadamente 300 km de longitud y activó varios segmentos de falla, generando un movimiento del terreno fuertemente condicionado por la geometría de la fuente y la directividad de ruptura. Estudios posteriores mostraron que los pulsos de velocidad observados en la zona cercana a la falla no fueron una consecuencia únicamente de la magnitud, sino de la combinación entre dirección de propagación, velocidad de ruptura, distribución del deslizamiento y condiciones locales del terreno.

Este caso resulta especialmente pertinente para Venezuela porque confirma varias de las preocupaciones planteadas para La Guaira: un terremoto grande no puede representarse mediante un único epicentro; la distancia relevante para el diseño es la relación entre la estructura y la superficie de ruptura; y los pulsos de velocidad de larga duración pueden incrementar significativamente las demandas en estructuras con periodos compatibles. En Kahramanmaraş se identificaron movimientos *pulse-like* con amplitudes importantes y periodos largos, capaces de modificar sustancialmente los espectros de respuesta en la proximidad de la falla.

El desempeño observado en Turquía también mostró que la evaluación de vulnerabilidad debe separar dos problemas que a menudo se mezclan: la calidad del sistema estructural y la severidad excepcional de la demanda sísmica. Investigaciones sobre edificios de concreto reforzado indicaron que algunos colapsos estuvieron asociados a combinaciones de deficiencias estructurales, detalles constructivos y demandas de desplazamiento elevadas producidas por movimientos cercanos a la falla. La lección normativa no es simplemente aumentar fuerzas de diseño, sino mejorar la representación de la amenaza mediante modelos de fuente finita, registros compatibles con directividad y criterios de desempeño.

Para la revisión de la normativa venezolana, Kahramanmaraş refuerza una conclusión central: las zonas urbanas próximas a fallas activas requieren procedimientos que integren amenaza, fuente, suelo y estructura. Al igual que en el caso venezolano de 2026, la pregunta fundamental no debe ser únicamente cuál fue la magnitud del terremoto, sino qué características del movimiento llegaron al sitio: orientación del pulso, periodo dominante, desplazamientos permanentes, duración efectiva y compatibilidad con las estructuras existentes.

Tabla 4. Casos comparables y lecciones normativas. Referencias principales: USGS sobre Northridge; Pitarka et al. (1998); investigaciones del Architecture and Building Research Institute de Taiwán; Bradley y Weatherill (2025); Seed et al. (1972),

Caso / jurisdicción	Observación principal	Respuesta normativa o técnica	Lección para Venezuela
Northridge 1994, EE. UU.	Movimientos fuertes urbanos y directividad.	UBC 1997 introduce Na y Nv y mapas de zonas cercanas a falla.	Crear un disparador explícito para análisis de fuente cercana.
Kobe 1995, Japón	Campo cercano más efectos tridimensionales de cuenca.	Impulso a investigación, diseño de desempeño y estudios de fuente/sitio.	No separar fuente de estructura geológica local.
Chi-Chi 1999, Taiwán	Ruptura superficial extensa y registros excepcionales.	Revisión de fuerzas/espectros y estudios específicos de *near-fault*.	Convertir el terremoto en base de datos normativa.
Nueva Zelanda, evolución 2004-2025	Factor N(T,D), luego amenaza moderna con directividad implícita.	Discusión de evitar doble conteo.	Incorporar los efectos de directividad dentro del Análisis Probabilístico de la Amenaza Sísmica (PSHA), considerando su incertidumbre, antes de recurrir a factores de amplificación adicionales.
Caracas 1967, Venezuela	Daño fuertemente condicionado por suelo y periodo estructural.	Impulso a estudios geotécnicos y microzonificación.	La Guaira 2026 debe analizar fuente cercana y respuesta de sitio simultáneamente.

10.6 Valdivia 1960, un caso extraordinario.

El terremoto de Valdivia del 22 de mayo de 1960, de magnitud Mw 9,5, constituye un ejemplo particularmente ilustrativo de la necesidad de distinguir entre distancia epicentral y distancia efectiva a la fuente sísmica. Aunque muchas de las localidades severamente afectadas no se encontraban próximas al epicentro instrumental, la ruptura asociada al evento se extendió a lo largo de aproximadamente 1.000 km del margen chileno y produjo deformaciones tectónicas en una franja de más de 200 km de ancho, con levantamientos, subsidencias y grandes desplazamientos cosísmicos. En consecuencia, numerosas poblaciones del sur de Chile se localizaron muy próximas a la superficie de ruptura o a su proyección, por lo que estuvieron sometidas a condiciones propias del campo cercano de una fuente sísmica de dimensiones extraordinarias. Este caso demuestra que, especialmente en terremotos de gran magnitud, la evaluación de los efectos de campo cercano no debe basarse exclusivamente en la distancia al epicentro, sino en parámetros como la distancia mínima a la superficie de ruptura, y en la geometría y extensión de la fuente. Esta consideración resulta particularmente relevante para el análisis de terremotos someros próximos a zonas urbanizadas, donde una distancia fuente-sitio reducida puede controlar de manera decisiva las características del movimiento sísmico y sus efectos sobre las estructuras (Plafker y Savage, 1970; USGS, 2026)

11. Propuesta de agenda para revisar la normativa sísmica venezolana

La revisión posterior a 2026 debería evitar dos extremos. El primero es concluir que toda la norma falló porque hubo colapsos. El desempeño real depende también de cumplimiento, diseño, construcción, mantenimiento, modificaciones y vulnerabilidad de edificaciones antiguas. El segundo extremo es asumir que, por existir disposiciones sobre cercanía de fallas, no hace falta aprender nada nuevo. Un terremoto que revela una fuente urbana cercana, pulsos plausibles y una gran carencia instrumental justifica revisar tanto el articulado como los mecanismos de implementación.

11.1. Definir un criterio claro para activar estudios de fuente cercana

La norma debería establecer con claridad cuándo el procedimiento general deja de ser suficiente. El criterio no debería basarse solo en distancia al epicentro. Una combinación de magnitud potencial, tasa de deslizamiento o clasificación de falla capaz y distancia a la ruptura ofrece una base más física. Para fallas bien cartografiadas se pueden usar la distancia mínima a la ruptura (Rrup) o la distancia a la proyección superficial; para geometrías inciertas debe incorporarse una banda de incertidumbre. El objetivo no es declarar insegura toda construcción próxima a una falla, sino obligar a que la demanda sea evaluada con el modelo adecuado.

11.2. Requerir fuente finita, desagregación y directividad en proyectos importantes

Hospitales, centros de emergencia, aeropuertos, puertos, puentes estratégicos, centrales de datos, instalaciones de agua y energía y edificios de ocupación crítica situados cerca de fallas capaces deberían utilizar análisis probabilísticos específicos y escenarios de fuente finita. La desagregación permite conocer qué magnitudes, distancias y mecanismos dominan la amenaza en cada periodo. Si la directividad es relevante, debe

incorporarse mediante modelos compatibles con el estado del arte, con incertidumbre explícita y sin doble conteo.

11.3. Selección y orientación de registros

Para análisis no lineales, la selección de acelerogramas debe representar las características de la amenaza sísmica del sitio y no limitarse a lograr compatibilidad con un espectro objetivo. En zonas próximas a fallas, donde pueden producirse movimientos con pulsos de velocidad, no resulta suficiente escalar registros de campo lejano hasta hacerlos coincidir con el espectro de diseño. La selección debería reflejar, la probabilidad de ocurrencia de movimientos tipo pulso *(pulse-like)* y sus características de período, amplitud y orientación. Asimismo, cuando la direccionalidad sea relevante, debe preservarse la relación física entre las dos componentes horizontales y su orientación respecto de la fuente. Poulos y Miranda (2022) mostraron que las ordenadas espectrales pueden variar significativamente con la orientación horizontal, y Poulos y Miranda (2023) demostraron que, en terremotos transcurrentes, esa dependencia puede ser sistemática y conducir a demandas diferentes según la dirección considerada. Estos resultados refuerzan la conveniencia de que la selección y procesamiento de registros conserven la información direccional cuando se pretenda representar efectos de campo cercano. Baker (2007), Shahi y Baker (2014), Spudich et al. (2014) y Poulos y Miranda (2022, 2023).

11.4. Microzonificación vinculante en La Guaira

La microzonificación no debe ser un documento de consulta voluntaria. La reconstrucción de La Guaira ofrece la oportunidad de convertir los estudios geofísicos y geotécnicos en mapas reglamentarios de periodos, clases de sitio, susceptibilidad a licuación, deformación permanente, inestabilidad de laderas y cercanía a fallas. Los parámetros deben vincularse al catastro y a los permisos, de modo que un proyectista pueda consultar digitalmente la parcela y conocer las exigencias mínimas de investigación geotécnica y análisis sísmico.

11.5. Incorporar desempeño y recuperación funcional

La norma tradicional se concentra en seguridad de vida y prevención de colapso. Las pérdidas de 2026 muestran que infraestructura crítica puede quedar fuera de servicio incluso sin colapso total; este criterio forma parte de la filosofía de diseño estructural sismorresistente incluida generalmente en las normas Para hospitales, escuelas que sirven como refugios, centros de telecomunicaciones, puertos y sistemas de transporte debe considerarse un objetivo adicional de recuperación funcional. Esto implica controlar daño no estructural, anclajes de equipos, juntas, redes internas y capacidad de operación después del sismo, lo cual puede representar incluir dispositivos y diseños estructurales con consideraciones especiales, así como un incremento del periodo de retorno de la amenaza, más allá de los 475 años.

11.6. Instrumentación como política de seguridad pública

Ninguna reforma normativa será suficiente si el país no puede medir el próximo terremoto. Venezuela necesita reconstruir una red nacional de acelerógrafos con redundancia, telemetría y publicación abierta de datos. La Guaira y Caracas deben tener estaciones en roca y en distintas unidades sedimentarias, además de instrumentos en edificios y puentes representativos. Otras zonas críticas del país, como los Andes y el Oriente, requieren seguimiento preciso de la actividad sísmica. Desafortunadamente, en las últimas dos décadas se fue perdiendo progresivamente la red sismológica de tecnología avanzada y amplia cobertura, que logró desarrollarse en 2000-2001. Un registro acelerográfico no es un lujo académico: permite calibrar mapas de sacudida, espectros, modelos de sitio, decisiones de reapertura y futuras normas.

11.7. Protocolo de actualización rápida después de grandes sismos

El episodio USGS muestra la necesidad de un protocolo que distinga datos preliminares y revisados. El organismo nacional competente (FUNVISIS), debe generar información oficial de cada terremoto, que debe asociarse a un identificador único y permanente, conservar el historial de las distintas soluciones publicadas e integrar progresivamente información sismológica nacional e internacional con observaciones geodésicas obtenidas mediante GNSS (Global Navigation Satellite System) e InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*), además de observaciones de campo, y emitir notas técnicas cuando un cambio modifique la interpretación de amenaza. Las decisiones de emergencia necesitan rapidez, pero la reconstrucción necesita trazabilidad.

Tabla 5. Agenda sugerida de investigación y normativa. Las medidas se plantean como temas para discusión técnica, no como articulado definitivo.

Prioridad	Medida propuesta	Producto esperado
1	Restablecer red acelerográfica y estaciones de referencia en roca/suelo.	Registros públicos, mapas de distribución espacial del movimiento sísmico (ShakeMaps) nacionales y base de movimientos fuertes.
2	Actualizar mapa de fallas activas y geometrías de fuente.	Base nacional GIS con incertidumbre y parámetros de actividad.
3	Microzonificación vinculante de La Guaira y actualización de Caracas.	Ordenanzas y parámetros por parcela.
4	Definir disparador normativo de estudio *near-fault*.	Criterio basado en fuente capaz, magnitud y distancia a ruptura.
5	Incorporar directividad al Análisis Probabilístico de la Amenaza Sísmica PSHA y selección de registros.	Amenaza y análisis dinámico sin doble conteo.
6	Requisitos de recuperación funcional para infraestructura crítica.	Objetivos de desempeño y continuidad operacional.
7	Programa de investigación del doblete 2026.	Reconstrucción de movimientos, pares secuenciales y estudios forenses.

12. Investigación necesaria para reconstruir el movimiento de 2026

La ausencia de acelerogramas locales obliga a plantear un programa específico para reconstruir la demanda. Ese programa debería tener varias capas independientes que puedan contrastarse entre sí. La primera es sismológica: formas de onda regionales, mecanismos de momento, fases revisadas y modelos de falla finita. La segunda es geodésica: InSAR de NISAR, Sentinel-1 y otras plataformas, GNSS disponible y offsets superficiales. La tercera es geotécnica: perfiles Vs, geometría de cuencas, nivel freático y propiedades no lineales. La cuarta es observacional: videos con reloj o frecuencia de cuadros verificable, cámaras de seguridad, oscilaciones de objetos y grabaciones que permitan estimar periodo, desplazamiento o duración.

El uso de video requiere un protocolo forense. No todo video sirve como acelerograma sustituto. Debe conocerse la frecuencia de cuadros real, la estabilidad de la cámara, la geometría de perspectiva y un objeto de escala. Cuando una cámara fija registra el movimiento relativo de un edificio, poste, luminaria o nivel de agua, técnicas de visión computacional pueden recuperar series de desplazamiento. Esas series deben filtrarse y validarse contra registros regionales o modelos físicos. El resultado debe publicarse con bandas de incertidumbre, no como una "medición" equivalente a un acelerógrafo.

También es necesario reconstruir pares de señales para el doblete. La superposición temporal hace que el segundo movimiento se inicie mientras todavía existe respuesta del primero. Una base de datos para análisis estructural debería conservar el tiempo continuo, no separar artificialmente los dos eventos si eso elimina la condición inicial real. Las señales sintéticas de Bernal y Cardona (2026) constituyen un punto de partida importante, pero deberían compararse con múltiples modelos de ruptura, datos NISAR y cualquier observación instrumental regional que esté disponible.

Finalmente, el programa debe vincular movimiento y daño. Un inventario de exposición para La Guaira debe identificar ubicación, año, altura, sistema resistente, material, uso, irregularidades, cimentación, intervenciones y nivel de daño de cada edificación. Sin denominador de exposición, contar colapsos no permite calcular vulnerabilidad (Lafuente, M. 2026). El objetivo final es producir curvas de fragilidad y mapas de riesgo que relacionen demanda espacialmente variable con tipologías reales. Ese modelo de exposición sería útil no solo para terremotos, sino para planificación de emergencias y priorización de reforzamiento.

13. Discusión: cómo debería cambiar una norma después de un terremoto excepcional

Las normas sísmicas no cambian porque un terremoto "supere" una línea de un mapa en un lugar concreto. Cambian cuando el evento revela que un modelo, supuesto o mecanismo importante no estaba representado de forma adecuada, o cuando demuestra que una disposición correcta no se está implementando. Esta distinción es fundamental para 2026. Parte del desastre puede corresponder a vulnerabilidad preexistente, construcción deficiente o deterioro; otra parte puede corresponder a demanda excepcional de campo cercano y sitio. La tarea técnica es separar ambos componentes mediante evidencia.

En consecuencia, la revisión debería comenzar con preguntas, no con factores. ¿Qué distancia a la ruptura experimentaron realmente Catia La Mar, Maiquetía, La Guaira y Caraballeda? ¿Qué periodos de pulso predicen modelos independientes? ¿Qué parte de la amplificación proviene de directividad y qué parte de los conos aluviales? ¿Qué edificios modernos correctamente diseñados y construidos excedieron niveles esperados de daño? ¿Qué estructuras antiguas tuvieron un desempeño sorprendentemente bueno y por qué? ¿Qué sistemas no estructurales controlaron la pérdida de funcionalidad? Cada respuesta puede conducir a un cambio distinto: mapa, espectro, detallado, inspección, microzonificación o política de reforzamiento.

El caso neozelandés aconseja precaución con los multiplicadores. Un factor de campo cercano puede ser transparente y fácil de aplicar, pero puede distorsionar la amenaza si se usa fuera del rango de periodos donde ocurre el pulso, o si la directividad ya está incorporada en el Análisis Probabilístico de la Amenaza Sísmica (APAS, o *Probabilistic Seismic Hazard Analysis – PSHA*). Los modelos NGA-West2 muestran que la amplificación por directividad es espacial y frecuencialmente localizada, no un aumento uniforme para todas las estructuras. Por ello, una posible solución transitoria para Venezuela sería usar el factor prescriptivo solo como disparador o piso conservador mientras se desarrolla un modelo nacional más avanzado, no como sustituto permanente del análisis físico.

También debe revisarse el concepto de distancia en los formularios de diseño. El epicentro es útil para comunicación pública, pero una norma orientada a fallas activas debe trabajar con distancias a la fuente. La relocalización del Mw 7,5 en 2026 es una demostración pedagógica contundente: la aparente distancia de La Guaira al "epicentro" cambió más de cien kilómetros al cambiar la solución preferida, mientras la ruptura real ya había ocurrido donde ocurrió. Una normativa robusta debe depender lo menos posible de una representación puntual que no describe bien terremotos grandes.

Hay que destacar la necesidad de completar los estudios de microzonificación en La Guaira, los cuales deben ser realizados antes de proceder a construir en zonas severamente afectadas por el sismo (Genatios, C. 2026, Schmitz, M. 2026).

14. Conclusiones

1. Los terremotos del 24 de junio de 2026 deben interpretarse como una secuencia compleja y no como dos puntos cercanos en un mapa. El Mw 7,2 y el Mw 7,5 ocurrieron con una separación del orden de medio minuto. Esa proximidad temporal abre un problema de carga secuencial que merece investigación específica, especialmente para estructuras críticas y sistemas con degradación cíclica.

2. La evolución de la localización del Mw 7,5 es una de las lecciones centrales. Las primeras soluciones del USGS lo situaron cerca de Yumare; la solución revisada lo ubica aproximadamente 17 km al oeste de Catia La Mar. El cambio del punto preferido es del orden de 140 km. No debe interpretarse como una razón para desconfiar de toda información rápida, sino como evidencia de que las soluciones tempranas de grandes terremotos deben versionarse y revisarse con datos adicionales.

3. Los datos NISAR publicados por NASA mostraron deformación intensa cerca de Caracas y La Guaira y fueron utilizados por el USGS para mejorar el modelo de falla finita. La ingeniería debe trabajar con geometría de ruptura, no solo con epicentro. Para estructuras cercanas a fallas, distancia a la ruptura, posición respecto de la ruptura, dirección de propagación y distribución de deslizamiento son variables esenciales.

4. La poca profundidad aumentó la posibilidad de proximidad entre fuente y zonas urbanas, pero no demuestra por sí sola la existencia de pulsos. La directividad requiere una combinación geométrica y cinemática específica. Los pulsos deben identificarse o modelarse mediante procedimientos reproducibles y distinguirse de otros efectos de campo cercano, como el desplazamiento tectónico permanente (*fling-step)* y la componente vertical.

5. La Guaira combina una fuente potencialmente muy cercana con depósitos aluviales profundos y periodos predominantes del suelo del orden de 0,9 a 1,8 s reportados antes de 2026. Por ello, la explicación del daño debe integrar fuente, cuenca sedimentaria, licuación, cimentación y estructura. El antecedente de Caracas 1967 confirma que esta interacción suelo-edificio es una característica histórica de la región.

6. La COVENIN 1756-1:2019 contiene elementos para tratar cercanía de fuentes, cercanía de fallas, estudios especiales y microzonificación. La revisión posterior a 2026 no debe partir de la premisa de que esos temas están ausentes. La pregunta correcta es si los criterios de activación, la modelación de fuente finita, la directividad, la selección de registros y la implementación territorial son suficientemente explícitos y exigibles.

7. La experiencia internacional muestra una evolución. UBC 1997 utilizó factores prescriptivos de cercanía después de Northridge y Kobe; Taiwán revisó fuerzas y espectros después de Chi-Chi; Nueva Zelanda discute hoy cómo evitar doble conteo cuando la directividad ya está incorporada en el modelo probabilístico. Venezuela debería seguir esa trayectoria hacia métodos específicos de sitio y amenaza, no limitarse a copiar un multiplicador extranjero.

8. La prioridad institucional más urgente es recuperar la instrumentación. Sin acelerógrafos locales, el país pierde la posibilidad de conocer con precisión qué demanda produjo un terremoto que cambiará la ingeniería venezolana durante décadas. La red debe complementarse con GNSS, InSAR, instrumentación estructural y protocolos de datos abiertos.

9. Debe ejecutarse una investigación independiente para reconstruir el movimiento de 2026 mediante modelos de ruptura, registros regionales, datos NISAR y otros satélites, geotecnia y videos técnicamente utilizables. Los resultados deben incorporar incertidumbre y generar pares continuos de señales para estudiar el doblete.

10. La reforma normativa debe acompañarse de un modelo completo de exposición de La Guaira. Conocer cuántos edificios de cada tipología existían, dónde estaban, qué normas los regían y qué daño sufrieron es indispensable para derivar vulnerabilidades y mapas de riesgo. Sin ese denominador, el desastre produce relatos y cifras, pero no conocimiento

cuantitativo suficiente para diseñar una reconstrucción más segura.

El objetivo de una norma sísmica no es predecir cada detalle del próximo terremoto. Es impedir que la incertidumbre conocida se transforme en una vulnerabilidad ignorada. El 24 de junio de 2026 mostró simultáneamente las limitaciones de una descripción puntual de la fuente, la importancia del campo cercano, el peso de las condiciones locales del terreno y el costo de carecer de registros instrumentales. Convertir esas lecciones en mapas, datos abiertos, criterios de diseño y decisiones urbanas será la verdadera medida de cuánto aprendió Venezuela de esta catástrofe.

Referencias

Ambrosio, R, (2002). Modelaje gravimétrico del basamento de los conos aluviales de La Guaira, Macuto y Caraballeda. Estado Vargas. Geos, UCV, Caracas, 35: 57-58 + 105 p. en CD (carpeta 4.8). Trabajo Especial de Grado, tutores: R. Meza, I. Rodríguez y N. Orihuela.

Audemard, F. A., Machette, M. N., Cox, J. W., Dart, R. L., & Haller, K. M. (2000). Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. U.S. Geological Survey Open-File Report 2000-18, 78 p. https://doi.org/10.3133/ofr0018

Audemard M., F. A., Singer P., A., & Soulas, J.-P. (2006). Quaternary faults and stress regime of Venezuela. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61(4), 480-491.

Baker, J. W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(5), 1486-1501. https://doi.org/10.1785/0120060255

Beltrán, C.(1993). Mapa neotectónico de Venezuela. Caracas: Edic. FUNVISIS, Escala 1:2.000.000

Bernal, G., & Cardona, O.-D. (2026). Una excepcional demanda sísmica y sus implicaciones para el diseño sismorresistente: Modelación del movimiento fuerte derivado del segundo sismo del 24 de junio de 2026 en Venezuela. INGENIAR Risk Intelligence. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30181.56804

Bradley, B. A., & Weatherill, G. (2025). Consideration of near-fault effects in New Zealand seismic hazard analysis and design spectra. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 58(2), 108-117. https://doi.org/10.5459/bnzsee.1743

Bray, J. D., & Rodriguez-Marek, A. (2004). Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24(11), 815-828. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.05.001

Building Seismic Safety Council. (2020). 2020 NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures. FEMA P-2082-1, Volume I. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

California Geological Survey. (1998). Maps of Known Active Fault Near-Source Zones in California and Adjacent Portions of Nevada. Seismic Hazard Mapping Bulletin No. 7. California Department of Conservation.

Colón, S., Audemard, F. A., Beck, C., Avila, J., Padrón, C., De Batist, M., Paolini, M., Leal, A. F., & Van Welden, A. (2015). The 1900 Mw 7.6 earthquake offshore north-central Venezuela: Is La Tortuga or San Sebastián the source fault? Marine and Petroleum Geology, 67, 498-511. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.06.005

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (2001). COVENIN 1756-1:2001. Edificaciones sismorresistentes. Parte 1: Articulado. FONDONORMA, Caracas.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (2019). COVENIN 1756-1:2019. Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos (2da revisión). Norma venezolana de referencia para diseño sismorresistente. Caracas. Aprobada por el organismo normativo competente en 2020.

Čejka, F., Zahradník, J., Turhan, F., Sokos, E., et al. (2023). Long-period directivity pulses of strong ground motion during the 2023 Mw7.8 Kahramanmaraş earthquake. Communications Earth & Environment, 4, 413. https://doi.org/10.1038/s43247-023-01076-x

Earthquake Engineering Research Institute (EERI). (2026). EERI Learning from Earthquakes VERT Report: Phase 1 Response to the M7.2 & M7.5 Yumare, Venezuela Earthquakes, June 24, 2026. 30 June 2026. https://learningfromearthquakes.org/resources/vert-report-phase-1-response-to-the-m7-2-m7-5-yumare-venezuela-earthquakes-june-24-2026/

Genatios, C. (2026). Vargas, La Guaira: de los deslaves a los terremotos. Boletín Especial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, septiembre de 2026.

GFZ Helmholtz Centre for Geosciences. (2026). Severe Earthquake in Venezuela | GFZ Information | Status Report. 26 June 2026, Potsdam, Germany

GFZ German Research Centre for Geosciences. (2026). GEOFON Earthquake Explorer: Seismic event map for northern Venezuela (M7.3 and M7.4 events, June 25, 2026). Potsdam, Germany. Retrieved from gfz-potsdam.de

International Conference of Building Officials. (1997). Uniform Building Code, Volume 2, Structural Engineering Design Provisions. Whittier, California.

Kamai, R., Abrahamson, N. A., & Graves, R. W. (2014). Adding fling effects to processed ground-motion time histories. Bulletin of the Seismological Society of America, 104(4). https://doi.org/10.1785/0120130272

Lafuente, M. (2026) El sismo del 24 de junio de 2026 en Venezuela: análisis preliminar de daños en Caracas y La Guaira, y lecciones para la gestión del riesgo.Boletín Especial de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, septiembre de 2026

Mavroeidis, G. P., & Papageorgiou, A. S. (2003). A mathematical representation of near-fault ground motions. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(3), 1099-1131. https://doi.org/10.1785/0120020100

Mavroeidis, G. P., Dong, G., & Papageorgiou, A. S. (2004). Near-fault ground motions, and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom systems. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 33(9), 1023-1049. https://doi.org/10.1002/eqe.391

Méndez Galindo, C., Tapia Hernández, E., Botero Jaramillo, E., Guerrero Bobadilla, H., Pérez Liévana, K., Osorio Flores, L., Pinto Carvalho, L., Baena Rivera, M. E., & Serrano Vega, S. (2026). Reporte de Daños: Sismos de Venezuela del 24 de junio de 2026. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Comité Aprendiendo de los Sismos. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21678.27201

NASA Earth Observatory. (2026). Where Venezuela's Earthquakes Shifted the Ground. 10 July 2026. https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/where-venezuelas-earthquakes-shifted-the-ground/

New Zealand Standards. (2004). NZS 1170.5:2004 Structural Design Actions, Part 5: Earthquake Actions - New Zealand. Standards New Zealand, Wellington.

Pitarka, A., Irikura, K., Iwata, T., & Sekiguchi, H. (1998). Three-dimensional simulation of the near-fault ground motion for the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe), Japan, earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America, 88(2), 428-440. https://doi.org/10.1785/BSSA0880020428

Plafker, G., & Savage, J. C. (1970). Mechanism of the Chilean earthquakes of May 21 and 22, 1960. Geological Society of America Bulletin, 81(4), 1001-1030. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[1001:MOTCEO]2.0.CO;2.

Poulos, A., & Miranda, E. (2022). Probabilistic characterization of the directionality of horizontal earthquake response spectra. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 51(9), 2077-2090. https://doi.org/10.1002/eqe.3654.

Poulos, A., & Miranda, E. (2023). Modification of ground-motion models to estimate orientation-dependent horizontal response spectra in strike-slip earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 113(6), 2718-2729. https://doi.org/10.1785/0120230084

Red Sísmica de Puerto Rico. (2026). Información General del Evento, 24 de junio de 2026, M 7.5 Mww, cerca de la costa de Venezuela, latitud 10.622, longitud -67.194, profundidad 10 km. Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. https://redsismica.uprm.edu/spanish/informe_sismo/myInfoGeneral.php?id=20260624220435

Romero, M., Cragno, A., Schmitz, M., & Ambrosio, R. (2006). Caracterización de suelos con métodos geofísicos en La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, estado Vargas, Venezuela. Boletín Técnico, 44(1), 16-29. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2006000100002

Schmitz, M. (2026). Aportes de la Microzonificación Sísmica para la Mitigación del Riesgo Sísmico en Venezuela. Avances y Desafíos: Trabajo de Incorporación Académica (TIA) ante la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH),Boletín de la ANIH, N.º 71.

Seed, H. B., Whitman, R. V., Dezfulian, H., Dobry, R., & Idriss, I. M. (1972). Soil conditions and building damage in 1967 Caracas earthquake. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 98(8), 787-806. https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001768

Shahi, S. K., & Baker, J. W. (2014). NGA-West2 models for ground-motion directionality. Earthquake Spectra, 30(3), 1285-1300. https://doi.org/10.1193/040913EQS097M

Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., & Abrahamson, N. A. (1997). Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. Seismological Research Letters, 68(1), 199-222. https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.199

Spudich, P. A., Rowshandel, B., Shahi, S. K., Baker, J. W., & Chiou, B. S.-J. (2014). Comparison of NGA-West2 directivity models. Earthquake Spectra, 30(3), 1199-1221. https://doi.org/10.1193/080313EQS222M

Taiwan Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior. (2000-2002). Research reports on modification of Taiwan building seismic design provisions considering near-fault effects and uniform hazard response. Taipei.

U.S. Geological Survey (USGS). (1996). USGS Response to an Urban Earthquake: Northridge '94. U.S. Geological Survey Open-File Report 96-263.

U.S. Geological Survey (USGS). (2026a). M 7.2 - 20 km E of San Felipe, Venezuela, event us6000t7zc. Earthquake Hazards Program. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zc/executive

U.S. Geological Survey (USGS). (2026b). M 7.5 - 17 km W of Catia La Mar, Venezuela, event us6000t7zp. Earthquake Hazards Program. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/executive

Urbani Patat, F. (2026). Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela: Recopilación de mapas e información geocientífica. V.2. Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, (71), S4. https://n2t.net/ark:/42414/banih/712026/142

Yen, M.-H., Türker, E., Ulrich, T., Marchandon, M., Gabriel, A.-A., & Cotton, F. (2025). An analysis of directivity pulses using empirical data and dynamic rupture simulations of the 2023 Kahramanmaraş earthquake doublet. Earthquake Spectra, 41(2). https://doi.org/10.1177/87552930241305012

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/178
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 247 – 257

RESPUESTA ESTRUCTURAL Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA: LECCIONES, DEBILIDADES Y CAMBIOS NECESARIOS TRAS EL TERREMOTO DE LA GUAIRA DEL 24 DE JUNIO DE 2026

Guillermo BONILLA[1]

RESUMEN

Los daños y colapsos en serie de gran cantidad de edificaciones localizadas en determinados sectores del Estado La Guaira, consecuencia del par de eventos sísmicos vividos el 24 de junio de 2026, deben llevar a cambios en distintas disciplinas y áreas a pesar que la acción de la naturaleza demostró un carácter extraordinario por la descarga de energía transformada en fuerzas fatales sobre estructuras. En el presente artículo se incluyen resultados relativos a errores u omisiones constructivas en el ámbito estructural evaluados sobre edificaciones colapsadas y no colapsadas; se trata de estudios que iniciaron el mismo día de los eventos a solicitud del Ministerio del Poder Popular para Hábitat y Vivienda. Como las zonas afectadas tienen desarrollos que datan de los años sesenta, en la descripción de lo observado se incluye información adicional sobre el estatus normativo para diferentes épocas, características de los materiales utilizados e incluso el porcentaje estimado de edificaciones por décadas. De manera especial, se detallan los errores cometidos durante la ejecución que si bien es cierto no fueron las razones directas de tantos colapsos, queda claro que de haberse tratado de un terremoto con menor magnitud e intensidades, sería probable que estos errores de calidad relativos a la estructura tuvieran un carácter protagonista en daños graves sobre algunas edificaciones. Se concluye que se necesitan hacer cambios a distintos niveles y en distintos frentes, dejando en el lector la reflexión correspondiente.

ABSTRACT

Structural response and on-site quality control: lessons, weaknesses, and necessary changes following the La Guaira earthquake of june 24, 2026

This paper evaluates the structural performance and widespread building collapses in La Guaira State following the June 24, 2026 seismic events. Based on post-earthquake field inspections requested by MINHVI, the study analyzes reinforced concrete buildings constructed over various regulatory eras (1960s–2020s), focusing on construction errors and quality control deficiencies such as improper stirrup spacing, lack of joint confinement, and poor rebar splicing. Although the extreme ground motion directly triggered the failures, these structural execution flaws severely compromised building ductility and shear capacity, emphasizing the urgent need for regulatory reform and stricter construction supervision.

Palabras clave: Respuesta estructural, control de calidad, terremoto de La Guaira, colapso edificios, normativas sísmicas.
Keywords: Structural response, quality control, La Guaira earthquake, building collapse, seismic codes.

1. Introducción

El par de eventos sísmicos acaecidos el 24 de junio de 2026, iniciando el primero cerca de San Felipe al occidente del país y seguido a los pocos segundos por el focalizado en la costa de Caraballeda, afectaron con distintas intensidades a varios estados. El impacto fue contundente en el Estado La Guaira, donde un alto porcentaje de urbanismos localizados en suelos más blandos o en mesetas ubicadas dentro del área de influencia crítica del movimiento; recibieron de manera cuasi instantánea y fatal el impacto avasallante de los eventos.

Esta ruptura de la corteza terrestre con ondas de arranque inicial combinadas (P y S) por lo cercano y superficial, generó tal descarga que grupos de edificaciones, en especial las de mediana altura (8 a 14 niveles), carecieron de capacidad para absorber y disipar tanta energía, provocando cuasi de inmediato sus colapsos. Consecuentemente, las fuerzas iniciales de corte recibidas en las fundaciones y transmitidas de manera inmediata a la superestructura, superaron la capacidad en las bases de columnas para soportar el extraordinario impacto cortante. Por otra parte, si bien es cierto que algunas estructuras pudieron resistir las cargas axiales consecuencia de las oscilaciones vibratorias horizontales; en ningún caso estos miembros (columnas) fueron diseñados para resistir un componente vertical con aceleración imprevisible a la fecha.

[1] Universidad Católica Andrés Bello

El artículo tiene como objetivo resaltar la necesidad de mejorar calidad en el área estructural y construcción futura; enfocándose en los distintos errores observados en edificios colapsados en concreto reforzado de configuración sencilla y geometría rectangular (tanto en planta como en elevación) que no tuvieron posibilidad de absorber y disipar energía sin colapsar. Adicional y a manera informativa, han sido incluidos determinados aspectos relacionados con las normas utilizadas y su época de aplicación, al igual que se adelanta información de resistencias en concretos y cedencias en aceros estudiados en las edificaciones del Estado La Guaira.

Los resultados forman parte de una investigación con mayor alcance que tiene como finalidad evaluar y analizar causas de los colapsos en edificios afectados por el terremoto de La Guaira; para incentivar cambios necesarios en distintas áreas y disciplinas. Inició el mismo día del evento, a solicitud del Ministerio del P.P. para Hábitat y Vivienda en conjunto con la Universidad Católica Andrés Bello.

2. Responsabilidad por daños estructurales

Distintas disciplinas profesionales juegan protagonismo esencial en la respuesta de las edificaciones ante eventos naturales; aunque la calidad en la ejecución de la estructura termina siendo la responsable del comportamiento real de toda edificación correctamente diseñada. En este sentido, la arquitectura inicia determinando las formas geométricas en planta como en elevación, definiendo alturas en función de variables urbanas locales y estableciendo la distribución de espacios; aspectos que resultan fundamentales en el comportamiento de toda edificación ante este tipo de eventos. Por otra parte, los especialistas en geotecnia evaluarán la morfología y geología del suelo determinando, entre otros aspectos, condiciones físicas de soporte, tipos de fundaciones y profundidades e incluso, en algunos casos la dinámica del suelo.

El ingeniero estructural desarrollará un diseño apoyado con programas, soportado en conocimiento del área, normas y reglamentos para terminar definiendo secciones y dimensionado de vigas, columnas, losas; estableciendo además reforzamiento y detalles a cumplir durante la ejecución. El inicio de la construcción propiamente requiere de permisos otorgados por las ingenierías municipales que, como consecuencia del terremoto de 1967, solo verifican el cumplimiento de variables urbanas, en especial aspectos locales de retiros, porcentajes de ubicación y construcción junto a existencia de infraestructura de servicios; actividad realizada por profesionales de la arquitectura e ingeniería.

Consecuentemente, el constructor, con su respectiva supervisión y control de calidad, tiene la responsabilidad de llevar a cabo todo un proyecto siguiendo parámetros bien determinados. En definitiva, la Ingeniería detrás de entes oficiales y empresas constituye la disciplina principal del comportamiento de la edificación a lo largo de su vida útil.

Sin embargo, al final toda estructura responderá a cómo fue construida; por lo tanto, el rol de los ingenieros residentes e inspectores, técnicos en supervisión y de laboratorios de materiales resultará esencial para asegurar que la edificación sea ejecutada tal como fue proyectada y logre comportarse conforme fue previsto. En una primera instancia, la responsabilidad decenal por fallas y daños consecuencia de lo tratado caerá en principio sobre el Constructor con su Ingeniero Residente, el Ingeniero Inspector y el Ingeniero estructural.

3. Especificaciones involucradas en las construcciones

Formalmente las normas de cálculo y construcción iniciaron con el Ministerio de Obras Públicas (MOP) hacia 1933 con especificaciones básicas relativas a sismicidad; recibiendo sus respectivas actualizaciones en 1947 y 1955, todas soportada en la Teoría Clásica.

El terremoto de Caracas (y La Guaira) en 1967 motiva una actualización que es reeditada en 1968 manteniendo la Teoría Clásica pero paralelamente es publicada la Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas que incorporaría las características de los suelos, tipo de estructura, detallado en nodos, entre otros aspectos.

En la década de los 80 es publicada la norma COVENIN 1756-82 con cambios sustanciales en relación a la norma antisísmica post terremoto 67 y la experiencia de Cariaco en 1997 lleva a mejorarla en 1998. En 2019 es publicada la última actualización con mejoras sustanciales incluyendo la microzonificación. Pasó a ser Reglamento en 2021 y desde luego no pudo ser aplicado en las edificaciones de La Guaira.

En lo referente a cálculo y construcción la norma MOP 1967 es actualizada a inicios de los 70 por la norma 1971 que a su vez resulta sustituida a mediados de 1985 por la norma COVENIN 1753-85 - Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones Análisis y Diseño- basada en especificaciones ACI 318-83; estando soportada en la Teoría de Rotura además de incluir un Capítulo 18 dedicado a consideraciones sismorresistentes. La última actualización es del año 2006. La figura 1 esquematiza en función de las épocas la incidencia de normas o hitos relevantes que motivaron actualizaciones.

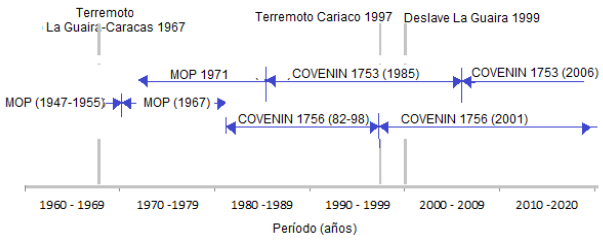


Figura 1. *Lapsos de normas e hitos relevantes en función de los años*

Respecto a la construcción de edificaciones residenciales, materiales y detalles, el Estado La Guaira contaba y cuenta todavía, con edificios aporticados en concreto reforzado que datan de los años 45 del siglo pasado; en consecuencia, tiene estructuras desarrolladas durante los últimos 80 años que fueron diseñadas bajo diferentes especificaciones sísmicas como de construcción que han ido mejorando a través de los años.

Para ofrecer una idea, hacia la década de los 40 las construcciones eran de poca altura y el principal promotor era el Estado, pero los parámetros de cálculo como de ejecución, ya contaban con especificaciones nacionales desde los años 30. Hasta mediado de los 60 las resistencias mínimas de concretos estructurales arrancaban desde los 180 kgf/cm²; el acero en estribos y ligaduras contaban con diámetro mínimo 6 mm y en las columnas con separación constante de ligaduras a todo lo largo de su altura, en función del valor crítico entre 16 veces barra longitudinal o 48 veces diámetro de la ligadura o lado menor de la sección transversal del miembro.

Las columnas de estructuras calculadas bajo estas normas cuentan con relativo poco acero longitudinal como transversal con una cedencia (2200-2500) kgf/cm²; aunque eventualmente en edificios altos incorporaban acero trabajado a torsión en frío de cedencia en el orden 4000 kgf/cm². Buena resistencia a cambio de limitar su ductilidad.

En columnas los empalmes por solape de acero longitudinal suceden a nivel de piso y los nodos carecían de confinamiento hasta que las consecuencias del terremoto de Caracas (y La Guaira) en 1967 obligó a disponer de la Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas post terremoto donde recomendaban confinarlos para asegurar comportamiento adecuado, condición mantenida a la fecha.

Las siguientes especificaciones para diseño y construcción general llegan hacia 1985 bajo la norma COVENIN 1753-85 - Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones Análisis y Diseño aceptaban ligaduras desde 6 mm en miembros secundarios para aceros longitudinales hasta 12,7 mm (1/2") y a partir de este diámetro ligaduras (y estribos también) de 9,50 mm (3/8") refiriendo ganchos a 135º en ligaduras y estribos para zonas sísmicas; además que cada barra esquinera cuente con gancho a 135º manteniendo armadura transversal de confinamiento en juntas viga – columna. La cedencia del acero se mantiene en 4200 kgf/cm² (Grado 60).

La resistencia del concreto para diseño (f´c) (ND3) la indica mayor a 210 kgf/cm²

La 1753-2006 mejora el Capítulo 18, cambia coeficientes de carga y factores de reducción en vigas, pero en especial presta atención casos de muros portantes y a los confinamientos en nodos en zona de alta ductilidad (ND 3). Resistencia de concreto mayor a 250 kgf/cm².

Esta descripción somera de exigencias normativas se hace necesaria para poder evaluar en sitio el cumplimiento de referencias normativas específicas; al respecto, un aspecto adicional incluido en la figura 2 corresponde al estimado de construcciones de edificios desde 1960 en el Estado La Guaira; que si bien se trata de una data todavía en revisión, permite ofrecer una idea de la incidencia normativa sobre el porcentaje de las construcciones levantadas según distintas épocas. Se infiere de la figura 2 que entre un 55% a 65% de las edificaciones fueron desarrolladas bajo normas MOP mientras un 40 % siguieron directrices COVENIN. Los urbanismos más afectados en este Estado cuentan con construcciones que datan desde los 70 presentando picos en la década 70 y 80 para caer entre 1990 y 2010 seguido del reinicio de crecimiento a partir del 2010.

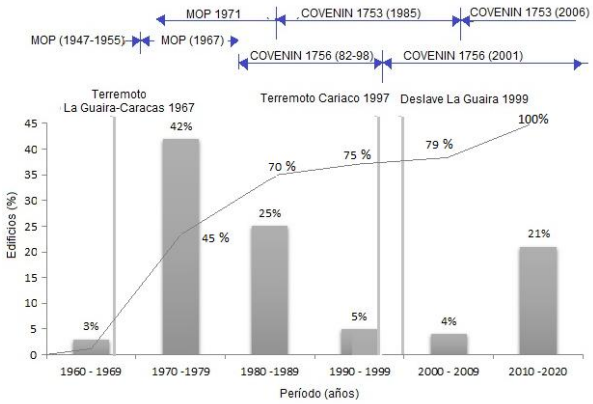


Figura 2. *Porcentaje de construcción de edificios e hitos relevantes en función de períodos*

Lo importante desde el punto de vista del estudio es que la data en porcentajes adelanta un panorama de requisitos de diseño y constructivos a lo largo del tiempo; así en lo relativo a resistencias hasta la década de los 80 correspondía a un valor medio referencial (200 – 220) kgf/cm² y a partir de esta década se pasa a 250 kgf/cm²; por otra parte las cedencias en barras de acero desde los 60 (2200 – 2400) kgf/cm² y 4000 kgf/cm² (acero trabajado a torsión) hasta los 70 que cambia a 4200 kgf/cm². Cabe destacar respecto al acero y sus propiedades, es que a hacia el año 2012 se presentaron problemas con importaciones en cedencias distintas; situación corregida en el mismo año con el retiro de lotes de piezas del mercado. Un mercado por cierto donde se dispone desde la década de las 80 barras corrugadas de acero longitud 6,0 m con cedencia 2200 kgf/cm² en diámetros 9,5 mm (3/8") y 12,7 mm (1/2") no recomendadas en estructuras de edificios.

Con relación a empalmes por solape de barras longitudinales en columnas, como ha sido expuesto, se mantiene desde los años 60 arranque a nivel de piso con ligaduras a distancias iguales en toda la altura (25-40) cm y cierres con ganchos a 90º.

A partir de 1980 estos empalmes a nivel piso son reubicados en los 2/3 centrales de la altura de columna, con la finalidad de facilitar inflexiones precisamente hacia el centro de la luz, dado que los momentos sísmicos consecuencia de fuerzas cortantes en los extremos tienden a ser nulos en la media altura; esta ubicación restringe, al menos teóricamente la aparición de articulaciones cercanas a nodos. Consecuentemente las ligaduras en columna inician desde el nodo a 5 cm manteniendo separación constante entre ¼ de menor longitud de sección o (8 *db*-1985 / 6 *db* – 2006) siendo *db* menor diámetro de acero principal o 24 diámetro de ligadura; en cualquier caso, menor a 10 cm hasta 1/3 de la altura para pasar a mayor separación en los 2/3 centrales según los criterios ½ de la menor longitud de sección o 16 diámetro menor de barra principal o 48 diámetro de ligadura y nunca menor a 30 cm. La tabla 1 resume estas restricciones.

Tabla 1. *Restricciones relativas a separaciones de ligaduras según normas 1753 años 1987 y 2006*

Parámetro en Columnas ND3	Zona de Confinamiento (Extremos)	Zona Central (2/3 de la Altura)
Separación respecto a la columna	¼ menor dimensión	½ menor dimensión
Separación respecto a diámetro cabilla principal	$8 \cdot db$ (Norma 1987) 6. db (Norma 2006)	$16 \cdot db$
Separación respecto a diámetro ligadura	$24.db$ (Norma 1987)	48. db
Límite máximo	10 cm	30 cm

Nota. db diámetro de barra

Queda claro que desde el punto de vista del diseño estructural la respuesta de las edificaciones frente a movimientos sísmicos estuvo sustentadas en principios distintos que pasaron a ser más conservadores en la norma 1753 de 1985 y de mayor exigencia en 2006.

Entonces, a partir de mediados de los 80 normativamente los edificios debían cumplir con varias condiciones en edificaciones ND 3 en localizaciones con alta sismicidad, para asegurar incursiones de la estructura en el rango inelástico absorbiendo y disipando energía al fisurar y agrietarse la mampostería, para pasar con afectaciones en vigas, que en casos extremos debían fallar antes que las columnas prefiriéndose daños a flexión que a cortante.

Tómese en cuenta que las deflexiones máximas del último nivel según el amortiguamiento y factor de reducción de respuesta R, debían en casos extremos generar articulaciones en las vigas como es mostrado en la imagen clásica de textos a la izquierda de la figura 3. De no ocurrir estos daños en vigas se pudiera llegar a la condición no deseada de articulaciones en columnas (imagen derecha); situación peligrosa por las consecuencias no deseadas.

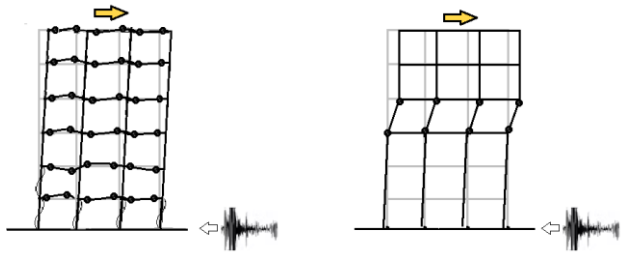


Figura 3. *Idealización de respuesta estructural deseada (izquierda) y no deseada (derecha)*

Claro está que la deflexión real de la estructura dependerá de la altura, como de su configuración en elevación y en planta; unido a la sección de vigas como columnas, tipo de losas y orientación de ejes; además de otras variables asociadas a la arquitectura relacionadas con sencillez, rigideces de secciones, redundancia y orientación de columnas en planta; estas características aportan condiciones para lograr un comportamiento conveniente, o sea que la estructura cuente con la capacidad y ductilidad necesaria para incursionar en deformaciones inelásticas sin llegar a las articulaciones en columnas con el objetivo de no afectar la estabilidad y resistencia estructural.

Cabe destacar que la ductilidad general dependerá de distintos aspectos, pero en especial de la rigidez en columna, acero longitudinal y transversal (ligaduras), confinamiento en nodos, etc. En el caso de oscilaciones por el movimiento vibratorio se desarrollarán de manera alterna las mayores tensiones a tracción y compresión en estos miembros, en especial aquellos alejados del centro de la configuración en planta. Entonces, si las tensiones axiales a compresión pasaran a ser extraordinarias por la excesiva magnitud de aceleraciones, debido especialmente a la componente vertical inducida, las fuerzas actuando en prácticamente la totalidad de miembros verticales y en especial los de primeras plantas resultarán imposibles de resistir colapsando por impacto a compresión extraordinario; casos cuando se hace indispensable que las ligaduras confinen convenientemente las columnas de manera que el concreto estallado se mantenga confinado pero además pueda ser controlado el pandeo de los tramos longitudinales de aceros en estas secciones.

4. Colapsos estructurales

En gran parte de los edificios colapsados resalta el impacto instantáneo a corte en columnas del primer nivel que carecieron de capacidad y rigidez necesarias; consecuentemente la estructura en su totalidad pasó de manera inmediata a colapso de volcamiento donde una fracción de columnas en algún extremo fallaron por tensiones de tracción. En otros casos, cuando el grupo de columnas no tuvo capacidad de resistir la carga a compresión consecuencia de la aceleración vertical; en otras palabras, varias columnas cercanas y/o en la misma línea vertical presentaron similar incapacidad a compresión y el concreto fracturado en ellas no quedó confinado al estallar, el colapso vertical resultó inevitable y consecuentemente no se presentó le volcamiento.

Muchos sectores afectados en La Guaira cuentan con edificios aporticados de diferentes geometrías de planta y de elevación; sin embargo como ha sido indicado al inicio este artículo está centrado en plantas rectangulares y elevaciones relativamente sencillas debido a que al menos en el ámbito teórico son las formas que cuentan con mejores respuestas; aunque también presentaron colapsos en serie (volcamiento inmediato en alto porcentaje). Respecto a este tipo de

estructuras sencillas en la geometría, las que más daños por colapsos tuvieron, contaban con alturas en función de números de pisos ubicadas entre (8 - 15) niveles; mientras edificios con mayor número de pisos o aquellos no tan cercanos a las zonas de desastre mostraron daños de distinta gravedad sin colapso en columnas, vigas, losas y mampostería hasta los niveles 8 y 12 principalmente.

De manera gráfica la imagen izquierda de la figura 4 presenta de forma sencilla el caso de volcamiento completo y en la derecha caso de desplomes en vertical por fallas de columnas inferiores, pero con sección superior de estructura relativamente estable pero desplomada (volcamiento parcial).

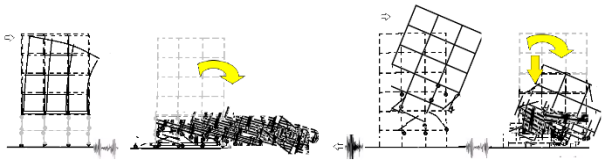


Figura 4. *Colapsos típicos con volamiento de estructuras con planta rectangular y elevación sencilla.*

Cuando un alto porcentaje de columnas tanto en sección de planta como en elevación carecía de capacidad resistente para absorber la fuerza axial a compresión, en lugar de volcamiento se presentó el colapso vertical absoluto o desplome como refleja la imagen izquierda de figura 5. Pero también se presentan casos donde muy probablemente por razones constructivas quedó algún plano potencial de falla en un determinado entrepiso, donde sus columnas al resultar afectadas por el colapso motivaron el desplome de la estructura por encima, haciendo que el entrepiso afectado desaparezca como queda reflejado en la imagen derecha de la figura 5.

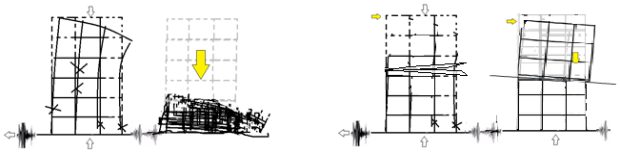


Figura 5. *Colapso vertical debido a columnas sin capacidad de soportar carga sísmica a compresión axial.*

Durante las evaluaciones en sitio pudo ser constatado en los tipos de fallas expuestos en las figuras 4 y 5 que se trataban de edificios sin niveles de sótano; ahora bien, en la medida que se avanzó en el peritaje de las edificaciones; pudieron ser detallados los casos de edificios con niveles inferiores a planta baja que también colapsaron y consecuentemente fueron observados en estos casos como los descritos. La figura 6 ejemplariza a la izquierda casos de desplome, en el centro volcamientos con desplome parcial vertical y el colapso parcial de un nivel superior según representa la imagen derecha.

Destacó durante las evaluaciones realizadas en edificios con sótanos que en muy escaso porcentaje se presentaban daños en las columnas de los niveles inferiores a planta baja; contando generalmente con fracturas en losas del techo primer e incluso segundos sótanos en sus vigas y losas correspondientes a su techo (nivel superior), consecuencias del impacto de las masas recibidas, pero con muy escasas afectaciones en las columnas de estos niveles inferiores. La figura 6 describe de manera simplificada los tres (03) casos típicos descritos. Izquierda volcamiento, central desplome vertical y derecha pérdida de entrepiso superior por caída vertical. La misma figura 6 deja claro que estos niveles sótano estaban ubicados debajo de la cota del terreno.

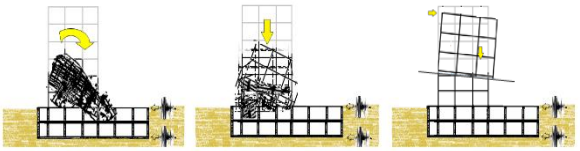


Figura 6. *Colapsos en estructuras con niveles de sótanos bajo el nivel del suelo.*

Estas descripciones de colapsos contenidas en la figura 6 confirman fundamentos descritos en muchos textos y desde luego contenidos normativos; al fin y al cabo, las fuerzas sísmicas actuantes generalmente tienen importancia a partir del primer nivel sobre el terreno; en otras palabras, debajo del nivel suelo las fuerzas horizontales son prácticamente muy bajas y los problemas en daños graves de fundaciones superficiales estarían asociados a licuación o licuefacción del suelo.

Obviando por ahora el tipo de fundaciones, las razones primarias del por qué las columnas en niveles sótano no han resultado afectadas, primera instancia pudiera ser justificada entre tantas razones por:

1. Presencia de un muro perimetral, al menos en tres (03) caras
2. La cota del terreno coincide con nivel planta baja. El suelo confina el nivel sótano a través del muro perimetral
3. Las secciones de sótano suelen contar con un área más amplia y consecuentemente mayor redundancia en columnas.
4. Las dimensiones de columnas en niveles sótanos son mayores que en planta baja.

Ahora bien, el abanico de colapsos presentes en el Estado La Guaira es tan amplio que también se encuentran edificios colapsados con los niveles sótanos para estacionamiento ubicados sobre el nivel del terreno, que al igual que los descritos, presentaron la situación de bajo porcentaje o nulo colapso de columnas en plantas inferiores; en consecuencia, aunque sea redundante se incluyen las imágenes de estas situación en la figura 7 siguiendo el orden izquierda volcamiento, imagen central desplome vertical e imagen derecha pérdida de entrepiso superior por caída de entrepiso.

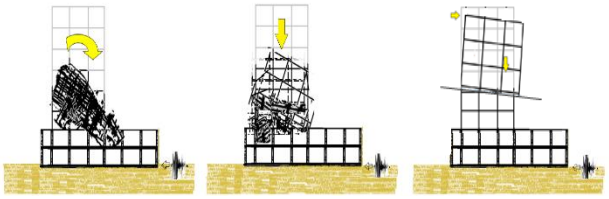


Figura 7. *Colapsos en estructuras con niveles de sótanos sobre el nivel del suelo.*

Estos casos reflejados en la figura 7, ubicados en zonas planas sin taludes cercanos, al igual que los de la figura 6 coinciden principalmente en el confinamiento desarrollado por el muro perimetral.

5. Resistencias Concreto, Cedencias Aceros. Edificios La Guaira

Han sido determinadas resistencias de concreto mediante extracciones de núcleos y estudio esclerométrico sobre columnas y /o vigas en un porcentaje de edificaciones colapsadas e incluso no colapsadas; la data puede ser observada en la tabla 2 donde se incluye información de niveles, condición y período de construcción.

Cabe destacar que se tratan de cifras que ofrecen una primera idea de aspectos relativos a resistencias; en la medida que se continúen avanzando con los estudios es muy posible que algunos promedios puedan cambiar.

Tabla 2. *Década de construcción, resistencias obtenidas del concreto y cedencias del acero*

Década de Construcción	Resistencia Media f'c (kgf/cm²)	Resistencia Mínima Evaluada (kgf/cm²)	Acero / Dominante Cedencia (kgf/cm²)
Años 1960	208	190	Gr. 40 / 2400
1970 - 1990	230	220	Gr. 40 / 2400- Gr.4200
1990 - 2000	260	240	Gr. 60 / 4200
2000 - 2010	265	260	Gr. 60 / 4200
2010 - 2020	270	260	Gr. 60 / 4200

Nota. Data preliminar obtenida mediante ensayos de núcleos y esclerometría en sitio.

En lo referente a resistencias para los años 60 se cuenta con un promedio en resistencia de 208 kgf/cm² con valor menor 190 kgf/cm² pasando entre los 70 y 90 a 230 kgf/cm² (mínimo 220 kgf/cm²). El período 1990 - 2000 presenta una media de 260 kgf/cm² (mínimo 240 kgf/cm²) pasando a 265 kgf/cm² entre 2000 - 2010 con mínimo 260 kgf/cm² y para el lapso 2010 – 2020 270 kgf/cm² con valor mínimo 250 kgf/cm².

Con relación al acero a la fecha las muestras ensayadas; una (01) de un edificio colapsado de los años 60 con cedencia 2200 kgf/cm² y tres (03) piezas correspondientes al período 2010 – 2020 cedencia media 4200 kgf/cm². En edificios colapsados de períodos 1990 - 2020 ha sido posible observar en sus aceros la rótula del fabricante correspondiente a aceros S60 (fy 4200 kgf/cm²).

Consecuentemente en lo referente a las características de los materiales (Concreto - Acero); en principio, hasta el momento actual y con base en los ensayos realizados, están dentro de valores normativos; aunque no necesariamente significa que cumplen, pues se hace necesario conocer el contenido del Diseño Estructural o Cálculo Estructural para saber acerca de las premisas e hipótesis aplicadas por el proyectista; material, por cierto, difícil de ubicar.

6. Detalles relacionados con errores en ejecución

Uno de los aspectos que han destacado en las evaluaciones realizadas sobre las estructuras afectadas en el estado, es que las edificaciones construidas antes de los años ochenta de manera general cumplen con las prescripciones normativas verificables, en especial las separaciones de ligaduras en columnas, cierres o ganchos a 90º y empalmes por solape que arrancan a la cota del piso. Consecuentemente, en lo relativo a la construcción pareciera que en esos años el control de ejecución era correcto; aunque se debe tener claro que las disposiciones de acero en los miembros resultaban holgadas y más sencilla de ejecutar; consecuentemente con menos complicación al ser supervisadas en etapas de construcción.

Por otra parte, la verificación de la calidad en lo referente a distintos detalles constructivos a partir de 1980, considerado en 44 edificios con daños graves incluyendo colapsados, permite adelantar visiones en lo que se refiere a la ejecución y supervisión de la construcción (residencia e inspección) por la cantidad de detalles incumplidos. La tabla 3 contiene resultados en variables importantes del detallado a cumplir según el año de construcción.

Tabla 3. *Cumplimiento de Variables Críticas de Detallado Estructural en Muestra de Edificios (N=44)*

Detalle Constructivo Evaluado (Post-1980)	Porcentaje de Incumplimiento	Impacto Estructural Observado en Sitio
Separación de ligaduras en tercios extremos	43%	Falla por cortante prematura en nodos
Separación de ligaduras en zona central	57%	Pandeo de barras longitudinales a compresión. Pérdida fracciones concreto
Doblez de ganchos a 135° en estribos	93%	Apertura de ligaduras y pérdida de confinamiento
Ausencia ligaduras en nodo	93%	Degradación de la junta viga-columna
Exceso de acero agrupado en solapes	95%	Pérdida de adherencia y reducción de sección efectiva

Nota. El exceso de barras refiere a una cantidad mayor a tres cabillas de acero juntas en zonas de solape

Resalta en la data de la tabla 3 que al menos 30 edificios construidos a partir de 1990 debieron cumplir con detalles no considerados en las normas de años anteriores. Se ha determinado que un 43% de los edificios evaluados no cumplieron con la separación de ligaduras 1/3 de altura en los extremos de columnas, mientras que un 57% tampoco cumplió separación mínima de ligaduras en la zona central. En lo que respecta al doblez en ganchos a 135º para los cierres en los extremos de las ligaduras, el 93% no los cumplió, y la presencia de ligaduras en los nodos fue incumplida también en un 93% de estas construcciones; con el detalle extraño de las que cumplieron con ligaduras en nodo presentan errores en su ejecución. Adicionalmente, el 95% de los casos estudiados cuenta con exceso de barras en la zona de empalmes de vigas (sección inferior por lo general) y/o columnas (tramo central), condición que afecta la adherencia con el concreto disminuyendo la sección efectiva de estos elementos estructurales colapsados.

Para complementar lo expuesto la figura 8 contiene tres (03) fotografías con detalles inadecuados en igual número de edificios. Izquierda gancho 90º con separación excesiva entre ligaduras, exceso de barras longitudinales con diámetro 25,4 mm (1") con pérdida de adherencia. Centro ligaduras en nodo mal distribuidas, se aprecia también junta vertical entre vigas. Derecha ligaduras con gancho 90º, exceso de acero longitudinal debido a empalme en columnas a nivel piso.



Figura 8. *Daños graves en tres (03) columnas de tres (03) estructuras, asociadas a inadecuada supervisión.*

Los daños mostrados en la figura anterior debieron ser corregidos durante la etapa de ejecución; al respecto, uno de los graves errores como ha sido expuesto, es empalmar todas las barras longitudinales de las columnas en cada entrepiso (imágenes izquierda y derecha de figura 8); esta situación por ningún concepto recomendable, genera zonas vulnerables en potencia debido a que en la mayoría de casos los aceros en grupos afectarán la respuesta del concreto al haber impedido desde la construcción confinarlos e incluso rellenar el espacio entre las barras. Las imágenes de la figura 9, tomada del *I^er^ Congreso Internacional y Jornadas Venezolanas Sobre Inspección de Obras* celebrado entre el 8 y 16 de junio de 2016; destacan la situación donde a imagen izquierda presenta el resultado del empalme por solape y a la derecha, la zona interna de barreras donde el concreto en estado semi fluido no podrá acceder independientemente del tamaño máximo del agregado. Obviamente se ha generado una sección de alta vulnerabilidad en la columna.

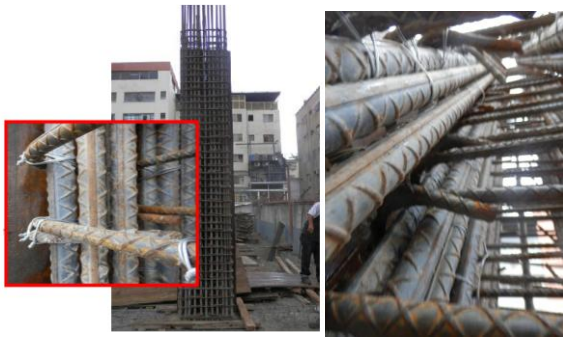


Figura 9. *Efecto de empalme en entrepiso cuando se incluyen todas las barras solapadas.*

Como ejemplo en sitio, la figura 10 muestra la imagen donde el exceso de acero principal en la columna y separaciones excesivas en ligaduras debilitaron la capacidad de la columna saliéndose el concreto fracturado de la zona confinada. Sin embargo, se reitera que las acciones del terremoto (s) fueron avasallantes.



Figura 10. *Zona de solape en columna con exceso de acero y pérdida del concreto fracturado.*

Al margen de lo tratado, otro detalle presente en todas las construcciones colapsadas y no colapsadas, independientes del año de ejecución, ha sido la presencia de tuberías que atraviesan vigas, condición que por lo general no viene contemplada en el Diseño Estructural (figura 11).



Figura 11. *Fotografía de tuberías que atraviesan vigas. Condición generalizada.*

La situación descrita se encuentra contemplada en las normas COVENIN 1753, con restricciones precisas de diámetros máximos y ubicación de zonas de pases en vigas; pero suele ser obviada dado que, en mayoría de los casos de edificaciones residenciales, las tuberías de servicio se encuentran localizadas a lo interno de las losas atravesando secciones de vigas de manera inadecuada. Una razón que motiva esta situación es que un alto porcentaje de edificios de carácter residencial son diseñados basados en la coordinación exclusiva entre arquitecto e ingeniero estructural; quedando otras disciplinas para etapas posteriores donde los pases de tuberías de servicios suelen ser establecidos con planos de arquitectura.

7. Debilidades en nodos y otros detalles

Tanto en edificios no colapsados como colapsados, los nodos no cumplen con las especificaciones indicadas en proyectos, dado que formalmente los planos contienen las referencias normativas del detallado. La figura 12 contiene en la imagen izquierda un (01) nodo en esquina de fachada mientras a su derecha y la imagen del mismo edificio con (01) nodo en zona central de fachada. Las ligaduras en estos nodos (como en el resto de juntas del edificio) no están correctamente distribuidas.



Figura 12. *Fotografías con errores en reforzamiento transversal de nodos.*

Obviamente el par de imágenes incluidas en la figura 12 permiten visualizar que las ligaduras en los nodos se encuentran inadecuadamente separadas (imagen izquierda y derecha). Pero también considerar otros detalles de incorrecta ejecución e incluso de diseño estructural débil; por ejemplo es posible detallar en ambas imágenes que las secciones en vigas (altura) cuentan con mayor rigidez que sus columnas; por otra parte la forma de rotura o corte visible en la base de la columna superior de la imagen izquierda refleja la presencia de juntas fría entre superficie de viga y base de columna, situación derivada de falta de limpieza correcta e encofrados previo al vaciado, incluso superficie de contacto lisa en la viga a nivel de nodo y/o falta de puente de adherencia necesario por el tiempo entre vaciados. También destaca en ambas imágenes de la figura el espesor en recubrimiento, que resulta excesivo, aunque justificado teóricamente y normativamente por el ambiente costero.

A continuación la figura 13 contiene un caso típico también relativo a debilidades inadecuadas en nodos por razones de espacio volumétrico, que en esta oportunidad posiblemente responda al Diseño Estructural consecuencia posible de exigencias arquitectónicas o inexperiencia del Proyectista Estructural. Obsérvese en la figura 12 que la sección volumétrica del nodo resulta insuficiente al tratarse, en este caso, de una sección determinada por columnas circulares y vigas rectangulares; cuyas secciones o caras externas vistas en planta llegan tangente al ras del perímetro de las columnas.



Figura 13. *Caso típico de nodo inadecuadamente diseñado a nivel de Proyecto Estructural.*

Obviamente lo mostrado delata falta de supervisión por la inexistencia de ligaduras y las posiciones de los aceros. Este caso específico corresponde a una estructura de 17 niveles con planta rectangular, localizado en zona donde no se presentaron colapsos, pero sí fuertes afectaciones estructurales en edificios con más de 8 niveles.

Consecuentemente las debilidades en reforzamiento transversal de nodos unido a insuficiencia en espacio para recibir barras de las vigas que convergen en él; además de otros detalles expuestos relativos a ejecución e incluso proyecto, constituyen situaciones que debilitan o debilitarán las respuestas adecuadas a las condiciones de sismicidad consideradas en la norma.

8. La corrosión daño generalizado

Entre los aspectos evaluados en edificios colapsados y no colapsados, ha sido detectado que todos presentan corrosión en sus aceros. En los cercanos a la línea costera como consecuencia de contaminación ambiental por cloruros; sin embargo, la totalidad de edificios visitados colapsados o no, presentan alto nivel de afectación por carbonatación en niveles sótanos y plantas bajas; con la consecuente corrosión de acero y pérdida del recubrimiento al menos en estos niveles.

Los estudios realizados sobre estructuras lejanas a la zona costera demostraron también afectación por carbonatación con delaminación y corrosión del acero. En términos generales esta situación que se encuentra más relacionada con el deterioro de vida útil, humedad y falta de mantenimiento, ha sido detectada en el 100% de los edificios visitados en La Guaira (e incluso Caracas) independiente de su condición post sismo.

Entonces resultará obvio muchos edificios afectados independiente del estatus en colapso, muestran secciones completas en vigas y/o columnas con corrosión incluso extrema; como puede ser observado en las imágenes de la figura 13 donde un par de edificios ubicados en zonas distintas y con daños graves estructurales, presentan secciones completas de afectación por corrosión.

La imagen izquierda de la figura 14 resalta además por la separación constante de ligaduras a distancia media 25 cm, espesor de recubrimiento excesivo y mínima cantidad de acero longitudinal; por otra parte la imagen derecha destaca también el caso de separación constante en ligaduras a distancia media 12 cm. En ambos casos la afectación por corrosión es de muy vieja data.

Consecuentemente la corrosión derivada de la carbonatación forma parte de una problemática generalizada en la totalidad del país al igual que la derivada de ambientes marinos propios en el Estado La Guaira.



Figura 14. *Casos de corrosión a la vista en aceros de columnas.*

Es costumbre que este tipo de daño sea manejado en primera instancia con los recubrimientos, pero queda claro que exceso de recubrimiento no es la barrera adecuada; aspectos más asociados a la calidad de mezclas de concreto y su permeabilidad también deben ser considerados a nivel de proyecto y desde luego en las etapas, posteriores ya habitados los edificios se hace indispensable el mantenimiento adecuado a tiempo. La carbonatación en algún momento de la vida útil de la edificación terminará afectando la condición despasivada del acero si no han sido tomadas las medidas correctas.

9. Dos casos típicos de edificios afectados gravemente sin colapso.

Con el objeto de ampliar información se incluyen dos (02) casos interesantes con respuestas no esperadas ante el sismo; en el primero un (01) edificio con planta baja libre sin colapsó por columnas y vigas rígidas correctamente distribuidas. El segundo, se trata de otro edificio ubicado en un sector donde no hubo colapsos, pero con daños graves en columnas.

9.1 Edificio 10 niveles con planta baja débil (década 70)

Edificio de configuración en planta rectangular y con planta baja débil; situación que como ha sido descrito constituye un detonante definitivo para una cantidad alta de edificios colapsados; si bien es cierto que la estructura presentaba condición (planta baja débil) y un alto porcentaje resultaron gravemente afectadas, algunas como este caso, no llegaron a colapsar a pesar de contar con 10 niveles sobre la planta baja.

Destaca en su diseño columnas con la rigidez necesaria al ser robustas y efectivamente las de fachada en los extremos presentaron daños graves. Las fotografías en la figura 15 que sigue muestra la condición post sismos.



Figura 15. *Caso edificio con afectación grave no colapsado de planta baja libre con columnas de sección adecuada.*

9.2 Edificio 16 niveles (incluyendo planta baja) más 3 sótanos. Año 2016

Configuración planta rectangular con apéndices. Columnas desde planta baja con secciones mínimas; en especial las perimetrales donde las vigas cuentan con más rigidez que columnas. En sótano las secciones son sustancialmente mayores.

Detalles resaltantes: separación entre ligaduras cerca de nodos mayor a 20 cm, ganchos 90º, empalmes de acero longitudinal fuera de la sección normativa. Todos los aceros solapados en mismo nivel. Figura 16



Figura 16. *Caso edificio con debilidades en ejecución. Grave con colapsos a niveles intermedios.*

El par de figuras destaca situaciones de realidades y localizaciones distintas con daños muy graves ambos. En este sentido, lo conservador de secciones columnas y vigas observables en una planta baja definida como débil del primero (figura 15) localizado en sector con alto número de edificios colapsados y por la otra la edificación (figura 16) con errores citados a lo largo de esta lectura, incluyendo secciones de columnas de niveles superiores a planta baja deficientes y ubicado en zona con afectaciones fuertes en edificios pero no colapsados; representan casos que terminaron cumpliendo un detalle esencial de toda normativa sismorresistente: Las estructuras no deben colapsar

10. Conclusiones

Los aspectos expuestos resaltan faltas en supervisión y consecuentemente el bajo nivel del control de calidad durante la etapa de construcción; responsabilidades que en especial recaen sobre ingenieros residentes e inspectores. También señalan que se existen casos de daños derivados de debilidades en el diseño estructural; pero debe quedar claro que los colapsos sucedidos el 24 de junio 2026 respondieron a terremoto(s) atípico y consecuentemente la destrucción lograda respondió a una acción de la naturaleza para la que no se estaba preparado.

Adicional a las faltas en las actividades de los ingenieros residentes e inspectores, también debe ser considerado que en el Estado La Guaira como a lo largo de la geografía nacional y en especial Caracas, se cuenta con edificios residenciales y de oficinas construidos desde la década de los 50 del siglo pasado y consecuentemente, en algunos casos, débiles también frente a eventos sísmicos en magnitud e intensidad no considerados en las normas de su momento.

Al respecto las investigaciones relativas a los motivos de los colapsos, llevadas a cabo por entes oficiales como por universidades e incluso organizaciones foráneas (incluidas universidades) llevarán un tiempo y determinarán cambios que mejorarán las respuestas de las próximas edificaciones desde muchos puntos de vista, más allá de las fronteras

Al enfocarse en los temas tratados en este escrito, se hace necesario reflexionar sobre distintos y variados aspectos, desde conceptos teóricos y normativos hasta realidades en lo relativo

a la experiencia y conocimiento de quienes cumplen las funciones supervisoras.

Normativamente las fallas en colapsos estudiados llevan a pensar en puntos como pudiera ser la realidad del factor de reducción de Respuesta R (normas sismorresistentes); en lo particular si se justifica un valor máximo para estructuras ubicadas en zonas con alta sismicidad o visto desde otra óptica si valdrá la pena permitir nivel tan alto de incursión en el área inelástica para estas localizaciones; claro está que la microzonificación actualizada puede justificar estos parámetros.

Por otra parte, contemplar mayores rigideces de columnas en planta de primeros niveles e inferiores; controlar la disminución de secciones en columnas con la altura. En otras palabras, secciones mayores en columnas pudieran ser una alternativa que mejoraría las respuestas de los edificios. Adicional también la prohibición de vigas planas en zonas de alta sismicidad. Los aspectos relativos a rigideces, entre otros, quedan bajo prescripciones normativas y decisiones del proyectista soportados en un concepto de economía en costos que quizá debería ser evaluado.

El detalle de los empalmes por solape de barras de una misma columna debe contemplar que en el mismo entrepiso no deben ser empalmadas todas las barras longitudinales, en otras palabras, la costumbre del constructor de cortar las piezas para que vayan de entrepiso a entrepiso debe ser prohibida y ser exigido que los planos contengan los detalles de empalmes de acero de cada columna a lo largo de toda la altura del edificio.

Por otra parte, el constructor debería cuidar que sus edificios cuenten con los mejores proyectos y las mejores ejecuciones. Desde luego existen y han existido en el país empresas de este nivel.

Las universidades también deben reflexionar porque hay una duda que queda con tantas estructuras jóvenes afectadas ¿Será posible que se imponga más importancia a los aspectos teóricos de manera que al entrar a la realidad profesional, el nuevo ingeniero solo cuente con conceptos; dándole solo importancia a lo que se le indique que haga obviando lo que debe hacer?

Otro punto a reflexionar es que hasta 1967 los Diseños Estructurales eran revisados en las ingenierías municipales por profesionales expertos y de reconocida trayectoria. Durante la construcción también ingenieros muy bien formados se dedicaban a verificar el cumplimiento de las indicaciones de los planos en las construcciones. Dado que retomar estas formas de control no será sencillo en la actualidad, sería prudente considerar la posibilidad, normal en otros países, que profesionales no empleados directos o empresas de alto nivel, sean contratados por los entes regionales para llevar a cabo seguimiento a las construcciones.

Resumiendo, las lecciones consecuencia de este evento(s) tan destructor, obligan a cambios sustanciales en varios y diferentes aspectos que deberán ser dirigidos por el Estado en sus distintos niveles, las Academias, los Centros Profesionales y Gremios principalmente.

En lo que se refiere a la calidad de ejecución, los errores presentes en las estructuras resultan de falta de inspección y /o residencia; posiblemente explicado en las funciones claves asignadas a ingenieros con inexperiencia. Pero debe también resaltarse que el país cuenta con profesionales del nivel y conocimiento de experiencia.

Consecuentemente este terremoto desafortunado por lo avasallante de la acción y sus consecuencias en varios estados, pero especialmente en el estado La Guaira, será sin lugar a dudas una oportunidad de enseñanza a nivel mundial.

Agradecimientos

El autor agradece al equipo de trabajo asociado a la evaluación de daños estructurales; Roxana Guerra (Ing. PDVSA) y a Carlos Suárez (Tesista de Ingeniería Civil). A la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat por la invitación a compartir lo estudiado. Al Ministerio del Poder P.P. Hábitat y Vivienda (MINHVI) y a la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB); por promover el primero y apoyar ambos todas las actividades necesarias en las investigaciones que se desarrollan.

Referencias

Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Natturales (1997). *Diseño Sismorresistente. Especificaciones y Criterios empleados en Venezuela. Coordinación: José Grases G.*

Dowrick, D. J. (1984). *Diseño de estructuras resistentes a sismos para ingenieros y arquitectos.* Editorial Limusa.

Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (2017). *El terremoot de Caracas de 1967: 50 años después.* Coordinación: *Genatios C. La Fuente, M. Cilento, A.* Ediciones CITECI.

Green, N.(1978). *Earthquake Resistant. Building Design and Construction.* Litton Educational Publishing, Inc.

Newmark, N. (1979). *Introducción a la Ingeniería Sismorresitente.* UCV. Escuela Ing. Civil. Compilación Joaquín Marín.

Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1982). *Edificaciones antisísmicas* (Norma COVENIN 1756-82). Ministerio de Fomento.

Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1985). *Estructuras de concreto armado para edificaciones: Análisis y diseño* (Norma COVENIN 1753-85). Ministerio de Fomento.

Comisión Venezolana de Normas Industriales. (2019). *Edificaciones sismorresistentes* (Norma COVENIN 1756:2019). Fondonorma.

Congreso Internacional y Jornadas Venezolanas Sobre Inspección de Obras. (2016). *Memorias del I Congreso Internacional y Jornadas Venezolanas Sobre Inspección de Obras.* Universidad Central de Venezuela.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/179
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 258 – 267

MANUAL MONOGRÁFICO DE RESILIENCIA URBANA Y BLINDAJE ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE
Análisis de los Colapsos en Caracas y La Guaira bajo la Normativa NCh433[1]

Marcos A. REBONATTO D.

RESUMEN

El parque edificado en Venezuela presenta vulnerabilidades sísmicas críticas, evidenciadas por colapsos históricos debidos a irregularidades de "piso blando" y fallas por ausencia de confinamiento transversal. Esta monografía propone una evolución técnica y de política pública: unificar los criterios de inspección post-sismo venezolanos (protocolos FUNVISIS / IMME-UCV) con la estricta gobernanza de diseño preventivo del modelo normativo chileno (NCh433 y NCh430). La tesis central plantea transformar el diagnóstico de vulnerabilidad en un mecanismo legal vinculante que obligue a la ejecución de proyectos de reforzamiento estructural (retrofitting), introduciendo la figura de responsabilidad solidaria del Revisor Independiente. El análisis demuestra que intervenir el parque vulnerable requiere una inversión preventiva del 15% al 25% del valor de reposición del inmueble, mitigando el riesgo soberano de pérdidas macroeconómicas catastróficas.

ABSTRACT

Monographic manual on urban resilience and seismic structural hardening: Analysis of building collapses in Caracas and La Guaira under the NCh433 Standard

The built environment in Venezuela presents critical seismic vulnerabilities, evidenced by historical collapses due to "soft story" irregularities and lack of transverse confinement. This monograph proposes a technical and public policy evolution: unifying Venezuela's post-earthquake inspection criteria (FUNVISIS / IMME-UCV protocols) with the strict preventive design governance of the Chilean normative model (NCh433 and NCh430 codes). The central thesis proposes transforming vulnerability diagnosis into a binding legal mechanism that mandates the execution of structural retrofitting projects, introducing the joint liability framework of an Independent Reviewer. The analysis demonstrates that intervening in vulnerable structures requires a preventive investment of 15% to 25% of the property's replacement value, mitigating the sovereign risk of catastrophic macroeconomic losses.

Palabras clave: Ingeniería sismorresistente; resiliencia urbana; piso blando; retrofitting; vulnerabilidad sísmica; gobernanza estructural; NCh433; FUNVISIS.
Keywords: Earthquake engineering; urban resilience; soft story; retrofitting; seismic vulnerability; structural governance; NCh433; FUNVISIS.

INTRODUCCIÓN

El parque estructural construido en Venezuela durante la segunda mitad del siglo XX presenta vulnerabilidades sísmicas críticas, evidenciadas históricamente por colapsos catastróficos como el del Hotel Macuto Sheraton durante el sismo de Caracas de 1967 (Rebonatto D., 2026(a)). Las inspecciones post-sismo, fundamentadas en los protocolos de FUNVISIS y el IMME-UCV, han diagnosticado de manera precisa patologías letales como la irregularidad de "piso blando" y la falla frágil por ausencia de confinamiento transversal en columnas. Sin embargo, el diagnóstico técnico reactivo resulta estructuralmente insuficiente para salvaguardar la vida humana y el patrimonio ante futuros eventos tectónicos.

Este ***Manual Monográfico de Resiliencia Urbana y Blindaje Estructural Sismorresistente*** plantea una evolución integral en la ingeniería nacional: la unificación de los criterios de inspección ex-post de Venezuela con la estricta gobernanza de diseño preventivo (ex-ante) establecida por el modelo normativo chileno (NCh433 y NCh430). La tesis central de este documento es transformar el diagnóstico de vulnerabilidad —como el etiquetado de habitabilidad— en un disparador legal vinculante que obligue a ejecutar proyectos de reingeniería y reforzamiento (retrofitting) bajo el principio de responsabilidad solidaria.

Para fundamentar esta transición hacia la resiliencia urbana, el manual desarrolla un hilo conductor multidisciplinario estructurado en cuatro capítulos:

[1] Unificación de Criterios de Inspección Ex-Post (FUNVISIS/IMME-UCV) y Gobernanza de Diseño Ex-Ante (Normativa Chilena NCh433/NCh430)

- **Capítulo 1:** Diagnostica la mecánica del colapso histórico por discontinuidad de rigidez vertical (piso blando) y demuestra cómo las exigencias de muros de corte continuos del modelo chileno anulan este riesgo.
- **Capítulo 2:** Profundiza en la patología de los materiales, correlacionando el daño observable en campo con la necesidad de emplear aceros de alta ductilidad (NCh203 y NCh204) para evitar fallas frágiles.
- **Capítulo 3:** Aborda la viabilidad institucional y financiera, demostrando que la adopción de la figura del Revisor Independiente y la inversión preventiva en reingeniería son imperativos macroeconómicos para evitar la pérdida de un porcentaje crítico del PIB Nacional.
- **Capítulo 4:** Presenta un portafolio técnico e ilustrado de estrategias de blindaje estructural, detallando la ejecución del encamisado de columnas, la adición de disipadores de energía y la construcción de muros de corte externos.

La ingeniería frente a la amenaza sísmica debe evolucionar de la administración del desastre a la garantía del desempeño estructural. Este manual establece la ruta técnica, legal y financiera para lograr ese objetivo.

CAPÍTULO 1

Análisis Del Colapso Por Piso Blando – Caso Histórico Hotel Macuto Sheraton (1967).

1.1. Contexto y Configuración Estructural del Inmueble

El Hotel Macuto Sheraton, ubicado en el sector Caribe de la población de Caraballeda (antiguo Estado Vargas, hoy Estado La Guaira), constituye uno de los ejemplos más documentados en la ingeniería estructural latinoamericana sobre los efectos destructivos de la irregularidad rigidez-masa en sentido vertical (Rebonatto D., 2026(a)). Diseñado y construido en el año 1955, el complejo arquitectónico principal estaba compuesto por tres módulos estructurales independientes vinculados a través de dos juntas de construcción, abarcando una planta rectangular en su base de 104 metros de longitud por 33 metros de ancho.

La torre contaba con un total de 11 pisos sobre el nivel del terreno. Sin embargo, su configuración estructural de concreto armado presentaba una discontinuidad severa de sus elementos resistentes:

- **Niveles Superiores (Pisos 5 al 9):** La estructura se encontraba rígidamente rigidizada mediante densos muros de concreto armado combinados con pórticos, diseñados para absorber las fuerzas horizontales.
- **Niveles Inferiores (Nivel Playa/Semisótano, Lobby y Mezzanina):** Los muros estructurales superiores se interrumpían de forma abrupta al llegar al piso 4, no continuando hasta las fundaciones. En consecuencia, los tres niveles más bajos dependían exclusivamente de un sistema de pórticos puros, sustentados por columnas circulares de 1.10 metros de diámetro en el nivel Mezzanina.

1.2. Mecánica de la Falla en el Piso Crítico (Mezzanina)

Durante el sismo de Caracas del 29 de julio de 1967, la abrupta transición de rigidez convirtió a los niveles inferiores en un clásico mecanismo de **"Piso Blando"** (*Soft Story*). Mientras los pisos superiores se comportaron prácticamente como un bloque rígido debido a la presencia de los muros, las fuerzas de corte sísmico se concentraron dinámicamente en los niveles inferiores desprovistos de rigidez lateral.

El **Nivel Mezzanina (Piso 3)** del Módulo Central fue identificado técnicamente como el **Piso Crítico** (Rebonatto D., 2026(a)) debido a la severidad geométrica de sus daños:

- **Distribución del Daño en Columnas:** El análisis de la planta del Módulo Central reveló que, de un total de 24 columnas examinadas en dicho nivel, 14 columnas (58%) sufrieron daño estructural calificado como Severo o Completo. Solo 4 columnas (17%) presentaron daño Moderado y 6 columnas (25%) quedaron en estado Sin Daño o Leve.
- **Mecanismo de Falla Mecánica:** Las columnas circulares experimentaron fallas violentas por esfuerzo cortante, caracterizadas por un agrietamiento diagonal severo, desprendimiento masivo del recubrimiento de concreto y el consecuente pandeo de las barras de acero de refuerzo longitudinal debido a un confinamiento transversal insuficiente.
- **Comportamiento de Vigas y Elementos No Estructurales:** Al menos el 55% de las vigas del nivel Mezzanina manifestaron agrietamientos por flexocortante. Asimismo, se registró el colapso generalizado de los cielos rasos (techos falsos) en las áreas del Lobby, la cocina y el Nivel Playa, además de fallas por cortante en las paredes de relleno y la tabiquería de los ascensores. A pesar de albergar a 1.200 personas al momento del evento, el colapso de estos componentes no estructurales provocó de forma directa 2 fallecimientos.

Diagnóstico del Riesgo Externo Asociado: La evaluación post-sísmica en los alrededores del hotel evidenció un peligro geológico-geotécnico calificado como **Medio/Moderado**, gatillado por el fenómeno de licuación del suelo costero. Este evento provocó grietas considerables en el pavimento, la piscina, el muelle y la línea de playa, además del desplazamiento permanente de estructuras livianas de techo de las adyacencias. Asimismo, el entorno se vio amenazado por el colapso total de los pisos superiores del Edificio Mansión Charaima y el asentamiento con rotación de una vivienda aledaña de tres niveles.

1.3. Tratamiento Técnico bajo el Enfoque Sísmico Chileno (*NCh433, NCh430 y DS 61*)

Si el Hotel Macuto Sheraton hubiese sido parametrizado, calculado y fiscalizado bajo las exigencias de la gobernanza de ingeniería chilena, el comportamiento de la estructura habría cambiado de forma radical, mitigando la concentración de esfuerzos en la base mediante tres principios normativos obligatorios:

a) Continuidad Absoluta de los Muros de Corte (NCh433) (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2012)

La norma de diseño sísmico chilena **NCh433** prohíbe explícitamente o penaliza de forma drástica en el espectro de diseño las irregularidades estructurales verticales del tipo "piso blando". Bajo este estándar, los muros de concreto armado dispuestos entre los pisos 5 y 9 habrían sido obligados a **continuar verticalmente de forma ininterrumpida hasta llegar al sistema de fundaciones**. Esta densificación basal dota al edificio de una rigidez lateral uniforme, distribuyendo el esfuerzo de corte basal a lo largo de toda la altura y eliminando el punto de pivotaje crítico en el nivel Mezzanina.

b) Confinamiento Sísmico y Ductilidad del Núcleo (NCh430)

Para las columnas circulares de 1.10 metros de diámetro, la norma **NCh430** (alineada con los requisitos de alta ductilidad del código americano ACI 318) (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2008) exige un detallado de acero de refuerzo transversal ultra-denso. Esto implica la disposición de estribos cerrados o espirales continuas con ganchos sísmicos a 135° espaciados a distancias mínimas en las zonas de confinamiento (nodos viga-columna). Este detallado garantiza que, ante altas demandas de aceleración espectral, el concreto experimente una deformación plástica controlada sin perder su capacidad portante vertical, evitando por completo el desprendimiento explosivo del recubrimiento y el pandeo del acero longitudinal.

c) Neutralización de la Licuación del Suelo (Decreto Supremo DS 61)

Dadas las evidencias de arenas saturadas y licuación documentadas por FUNVISIS en la línea costera de Caraballeda, el reglamento **DS 61** habría clasificado el terreno firmemente dentro de las categorías de suelos propensos a la amplificación de ondas sísmicas. El DS 61 exige para estos escenarios la medición obligatoria de la velocidad de la onda de corte (V_{s30}) y obliga al ingeniero calculista a penalizar las fuerzas sísmicas de diseño, forzando la construcción de **fundaciones profundas (pilotajes)** o losas de fundación continuas con vigas de amarra rígidas (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2011). Esto neutraliza los asentamientos diferenciales y las rotaciones de base sufridas por las estructuras costeras del sector.

d) Control Estricto de Deformación Lateral (Drift) para Componentes No Estructurales

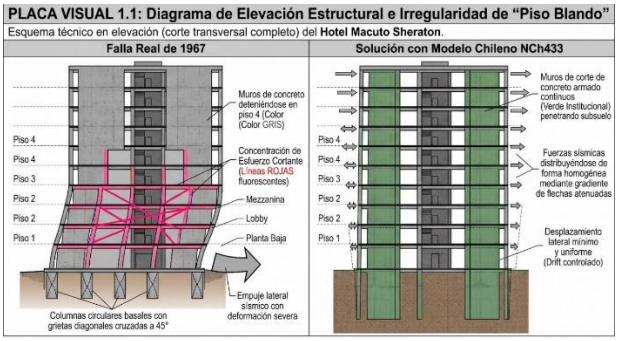
Para evitar las 2 muertes causadas por la caída de los techos falsos y el colapso de las paredes de relleno, la NCh433 impone límites severos al desplazamiento relativo entre pisos (*Drift*). Al rigidizar la estructura e impedir que el edificio se deforme lateralmente más allá de los rangos tolerables, se protege la integridad geométrica de la tabiquería, cielos rasos e instalaciones mecánicas, salvaguardando la vida humana incluso si los elementos estructurales principales sufren agrietamientos moderados.

1.4. Respaldo Visual del Desempeño Sísmico

***Placa Visual 1.1**: Diagrama de Elevación Estructural e Irregularidad de "Piso Blando*

Objetivo Ingenieril: Ilustrar la discontinuidad mecánica de rigidez lateral en elevación que provoca el mecanismo de colapso por "piso blando", y demostrar visualmente cómo el modelo normativo chileno anula este riesgo mediante muros de corte continuos.

Detalle Visual: Esta lámina ilustra, mediante un esquema técnico en elevación del Hotel Macuto Sheraton, una comparación visual entre una falla real y su solución estructural. La sección izquierda, "Falla Real de 1967", muestra cómo muros de concreto discontinuos (en gris), que se detienen bruscamente en el piso 4, provocan una deformación severa concentrada en los niveles inferiores (Mezzanine, Lobby y Planta Baja), donde las líneas rojas fluorescentes indican concentraciones de esfuerzo cortante y las columnas basales presentan grietas diagonales a 45°. La sección derecha, "Solución con Modelo Chileno NCh433", contrasta este escenario introduciendo muros de corte de concreto armado continuos (en verde institucional) que se extienden hasta el subsuelo, demostrando cómo las fuerzas sísmicas se distribuyen de forma homogénea (gradiente de flechas atenuadas) logrando un desplazamiento lateral mínimo y uniforme (drift controlado).



Fundamento Técnico:

Estado Vulnerable: En la elevación estructural de 1967 (lado izquierdo), se observa cómo los muros de corte de concreto armado se interrumpen en el piso 4, dejando la base apoyada únicamente en columnas esbeltas. Esta "falta de muros" en la planta baja concentró el 100% de la fuerza de corte sísmico en el nivel Mezzanina, superando la capacidad de las columnas basales y provocando su colapso geométrico.

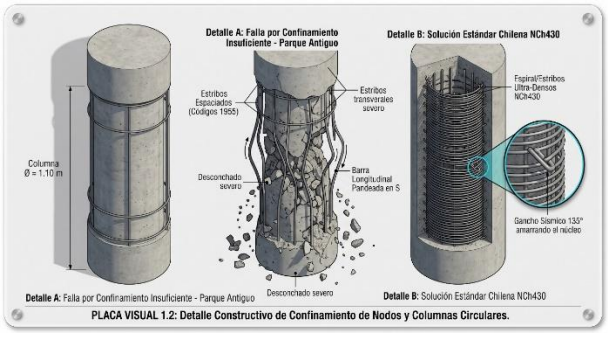
Estado Seguro (NCh433 Chilena): El modelo chileno (lado derecho) anula este riesgo al exigir continuidad obligatoria de los muros de corte desde la azotea hasta las fundaciones. Al rigidizar la base, las fuerzas sísmicas fluyen de

manera homogénea a lo largo de toda la altura de la estructura, logrando un Drift (desplazamiento lateral) controlado y evitando la deformación catastrófica del nivel basal.

***Placa Visual 1.2**: Detalle constructivo de confinamiento de nodos y columnas circulares*

Objetivo Ingenieril: El objetivo de esta lámina es exponer de manera didáctica la diferencia crítica en el comportamiento de las columnas de concreto armado bajo cargas sísmicas extremas, dependiendo exclusivamente de la disposición de su acero transversal. Busca evidenciar por qué el confinamiento denso del núcleo es un requisito indispensable para garantizar la ductilidad estructural y evitar el colapso frágil del edificio.

Detalle Visual: Esta lámina ilustra un desglose tridimensional (isométrico) de una columna de concreto circular de Ø = 1.10 m en dos escenarios contrastantes. El Detalle A expone una falla típica del parque construido con códigos antiguos (ej. 1955): se aprecian estribos muy espaciados que fallan en contener el material, provocando un desconchado severo, la caída de pedazos del núcleo triturado y el pandeo violento en forma de "S" de las barras longitudinales. Por el contrario, el Detalle B presenta la Solución Estándar Chilena NCh430, mostrando una armadura transversal conformada por espirales ultra-densas. Una lupa de acercamiento resalta específicamente el gancho sísmico doblado a 135°, el cual penetra y amarra de manera efectiva el núcleo de concreto.



PLACA VISUAL 1.2: Detalle Constructivo de Confinamiento de Nodos y Columnas Circulares.

Fundamento Técnico: El principio fundamental detrás de esta comparación es el confinamiento triaxial del hormigón. Cuando los estribos transversales están muy separados, el concreto carece de soporte lateral; al superar su límite elástico durante un sismo, el material estalla (falla frágil por aplastamiento) y el acero longitudinal, al quedar sin soporte, se pandea bajo las fuerzas de compresión. Al implementar estribos ultra-densos con ganchos sísmicos a 135° anclados hacia el interior, se genera una "jaula" resistente que ejerce presión lateral sobre el núcleo de concreto. Esto obliga al material a plastificarse de forma controlada (comportamiento dúctil), permitiendo que la columna disipe energía y mantenga su capacidad portante vertical incluso después de perder todo su recubrimiento exterior.

CAPÍTULO 2

Patología rectilínea y criterios de desempeño de los materiales sismorresistentes

Fusión de la Ficha de Campo (FUNVISIS/IMME-UCV) y la Metalurgia de Alta Ductilidad (NCh203 / NCh204)

2.1. Patología en Elementos de Concreto Armado y el Rol del Acero de Refuerzo (NCh204)

Durante la inspección del piso crítico en estructuras de pórticos de concreto (como el nivel Mezzanina del Hotel Macuto Sheraton), el inspector evalúa visualmente el ancho de las grietas y el desprendimiento del hormigón (López, y otros, 2022). No obstante, la mecánica subyacente de estas patologías depende directamente de la calidad y el detallado del acero de refuerzo interno regulado en Chile por la norma NCh204:

- **Daño Menor (Grietas < 1 mm):** Corresponde al comportamiento elástico y micro-agrietamiento controlado del concreto por flexión o retracción. El acero interno trabaja muy por debajo de su tensión de fluencia (F_y).
- **Daño Moderado (Grietas entre 1 y 2 mm con aplastamiento local):** El elemento estructural ha superado su límite elástico. El acero de refuerzo longitudinal (grados A440-280H o A630-420H) entra en su zona de fluencia, comenzando a experimentar deformaciones plásticas permanentes, pero controladas (Rebonatto D., 2026(b)), cumpliendo el objetivo chileno de disipar energía tectónica.
- **Daño Severo a Completo (Grietas > 2 mm, caída masiva de concreto, acortamiento y pandeo):** Representa la degradación total de la sección compuesta (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2008). Ante la ausencia de un confinamiento transversal denso (estribos) exigido por la NCh430, el concreto del núcleo se tritura por compresión cíclica, eliminando el soporte lateral de las barras longitudinales. Esto gatilla el pandeo violento del acero de refuerzo, provocando la pérdida instantánea de la capacidad portante vertical de la columna y conduciendo al colapso progresivo tipo "panqueque".

2.2. Patología en Estructuras de Acero y Requisitos de Calidad Estructural (NCh203)

(López, y otros, 2022), La evaluación de campo en pórticos de acero estructural (según las tipologías de fallas históricas de Northridge 1994 y Kobe 1995 indexadas por FUNVISIS) demuestra que el acero no es inmune a fallas catastróficas si carece de la resiliencia y tenacidad adecuadas. El comportamiento ante sismos severos se divide bajo los estándares de la norma NCh203 (Aceros para uso estructural):

a) El Mecanismo de Pandeo Local y Cedencia del Alma

Falla Observada: En vigas y columnas sometidas a flexión severa, las alas experimentan arrugamientos y deformaciones perceptibles a simple vista (Daño Moderado a Severo).

Fundamento Técnico: Para mitigar esto, el acero debe poseer un equilibrio milimétrico en su composición química. Los aceros de bajo carbono (acero dulce con menos de 0.30% de Carbono) garantizan una alta ductilidad y tenacidad, permitiendo que las secciones doblen y disipen energía tectónica en forma de calor sin fracturarse de forma súbita (Rebonatto D., 2026(b)).

b) Fractura en Conexiones Soldadas y Pernadas

Falla Observada: Rotura abrupta en las soldaduras que unen el ala de la viga a la columna, desgarramiento de planchas base o ruptura de pernos de anclaje de alta tensión (Daño Completo).

Fundamento Técnico: La norma chilena NCh203 regula estrictamente los grados estructurales (como el A37-24ES) exigiendo una excelente soldabilidad. Si el acero posee un exceso de carbono (> 0.60%), el material se vuelve extremadamente duro pero frágil, lo que concentra tensiones residuales durante el proceso de soldadura y provoca fallas frágiles (ruptura súbita) ante cargas sísmicas dinámicas, anulando la reserva de resistencia de la edificación (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2006).

2.3. Matriz de Correspondencia Mecánica, Metalúrgica y de Reingeniería

Componente e Inspección de Campo (FUNVISIS)	Calificación del Riesgo	Propiedad Mecánica Comprometida (Estudios de Acero)	Norma Chilena Aplicable	Solución Técnica de Reingeniería (Modelo Chileno)
Columnas de Concreto: Grietas diagonales a 45° con desconchado severo.	C. Alto	Pérdida de confinamiento y superación del esfuerzo último de tracción (F_u).	NCh430/NCh204	**Encamisado de columnas de hormigón:** Confinamiento mediante nueva armadura densa de acero de alta resistencia.
Estructuras de Acero: Pandeo local en vigas o fractura en uniones soldadas.	C. Alto	Agotamiento por fatiga de bajo ciclaje; superación del límite de fluencia F_y).	NCh203	**Adición de contravientos y disipadores:** Marcos externos con amortiguadores para absorber hasta el 40% de la energía.
Muros de Concreto: Grietas de ancho entre 2 y 6 mm con aplastamiento.	B. Medio	Desplazamiento residual; inicio de plastificación del refuerzo horizontal.	NCh433	**Densificación periférica:** Construcción de muros de corte externos adosados para detener la falla "panqueque".
Apoyo de Columnas: Deformación o desgarramiento de la placa base.	C. Alto	Concentración de esfuerzos de corte basal y tracción pura en pernos de anclaje.	NCh203/DS 61	**Inyección epóxica y pilotaje profundo:** Refuerzo estructural de fundaciones para amarrar rígidamente la base al suelo estable.

2.4. Análisis Visual de Patologías Estructurales

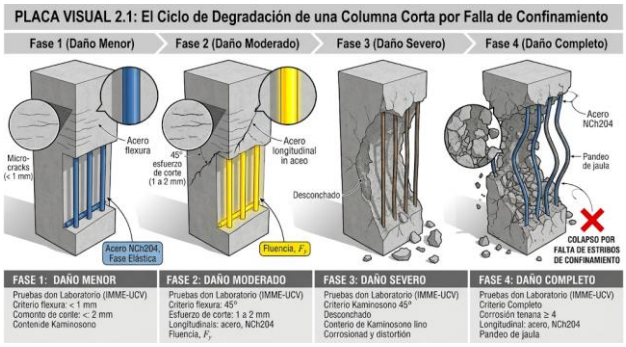
***Placa Visual 2.1**: El Ciclo de Degradación de una Columna Corta por Falla de Confinamiento*

Objetivo Ingenieril: El objetivo ingenieril de esta lámina es trazar la secuencia progresiva de degradación estructural en una columna de concreto armado que carece del confinamiento transversal adecuado. Busca evidenciar visualmente cómo la interacción entre los esfuerzos de corte y la transición del acero a su etapa de fluencia desencadena un colapso frágil, catastrófico e irreversible si no existen estribos que contengan el núcleo.

Detalle Visual: Esta lámina ilustra un diagrama secuencial de cuatro fases del ciclo de degradación de una columna corta, referenciando pruebas de laboratorio (IMME-UCV) (López, y otros, 2022), y los criterios de Kaminosono.

- En la **Fase 1 (Daño Menor)**, se aprecian micro-grietas de flexión ($< 1\,mm$) en la superficie, mientras el diagrama interno muestra el acero longitudinal (NCh204) en azul, indicando un estado estable dentro de su fase elástica.

- En la **Fase 2 (Daño Moderado)**, se desarrolla la primera grieta diagonal por esfuerzo de corte a 45° (de 1 a 2 mm), y el acero interno cambia a color amarillo para representar que ha alcanzado su punto de fluencia (F_y).
- La **Fase 3 (Daño Severo)** exhibe el desconchado superficial: el recubrimiento de concreto se fractura y cae, dejando las barras de acero expuestas.
- Finalmente, en la **Fase 4 (Daño Completo)**, se muestra el colapso definitivo: el concreto del núcleo se desintegra por completo y las barras longitudinales se doblan violentamente hacia afuera en lo que se denomina un "pandeo de jaula", ilustrando de forma gráfica la falla por ausencia de estribos de confinamiento.

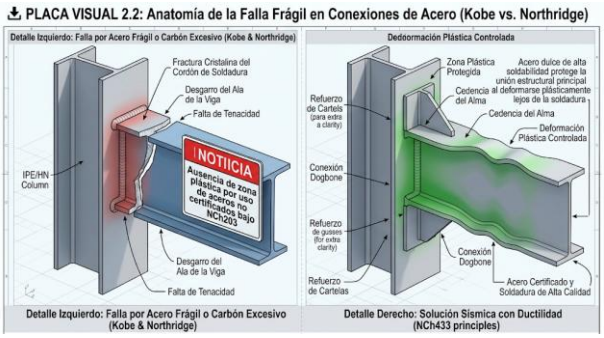


Fundamento Técnico: El fundamento técnico radica en la mecánica de la falla por compresión y cortante en elementos frágiles. Durante un evento sísmico, la columna absorbe energía deformándose. Inicialmente (Fase elástica), las grietas son controlables. Sin embargo, al aumentar la demanda lateral y entrar el acero en fluencia, el recubrimiento exterior de concreto estalla y se desprende (desconchado) debido a las deformaciones incompatibles. En este punto crítico, toda la carga axial y de corte recae sobre el núcleo y las barras longitudinales. Si la columna carece de una densa red de estribos transversales, no hay ninguna fuerza física que restrinja el movimiento lateral de las barras principales; estas sufren pandeo bajo compresión de forma instantánea, el concreto triturado del núcleo se derrama y el elemento pierde el 100% de su capacidad portante vertical, resultando en el colapso del nivel.

***Placa Visual 2.2**: Anatomía de la Falla Frágil en Conexiones de Acero (Kobe vs. Northridge)*

Objetivo Ingenieril: El objetivo ingenieril de esta lámina es contrastar el comportamiento catastrófico de las uniones de acero rígidas fabricadas con materiales inadecuados frente a las soluciones sismorresistentes modernas. Busca demostrar cómo el diseño por capacidad y la selección correcta del acero permiten crear "fusibles estructurales" que protegen las conexiones principales (los nodos) disipando la energía a través de la deformación controlada.

Detalle Visual: Esta lámina ilustra una vista ampliada en tres dimensiones de una unión de pórtico resistente a momento, donde una viga se conecta al ala de una columna. El **Detalle Izquierdo** muestra el resultado de utilizar acero frágil (con exceso de carbono): se observa una fractura cristalina abrupta que desgarra el cordón de soldadura y el ala de la viga, un tipo de falla destructiva característica de los sismos de Kobe y Northridge. Un letrero advierte sobre la "Ausencia de zona plástica por uso de aceros no certificados bajo NCh203". Por otro lado, el **Detalle Derecho** expone una solución estructural dúctil utilizando una conexión de "Ala Reducida" (Dogbone) y cartelas de refuerzo. Mediante un gradiente verde, se representa visualmente cómo la sección reducida obliga a la viga a ceder y deformarse plásticamente de manera controlada, alejando las tensiones críticas del cordón de soldadura.



Fundamento Técnico: El principio detrás de este diseño es la filosofía de "Columna Fuerte - Viga Débil" combinada con la metalurgia sismorresistente. Los aceros no certificados o con alto nivel de carbono pierden su tenacidad al ser sometidos a las altas temperaturas de la soldadura, volviéndose quebradizos y propensos a fracturarse repentinamente sin previo aviso bajo fuerzas cíclicas (falla frágil). La solución técnica consiste en emplear aceros dulces de alta soldabilidad (NCh203) y debilitar intencionalmente una pequeña sección de la viga (Dogbone) a cierta distancia del nodo. Esto crea un punto de fluencia planificado; durante un terremoto intenso, la viga se doblará y absorberá la energía sísmica en ese punto exacto, protegiendo la integridad de la soldadura y garantizando la estabilidad global de la columna estructural.

CAPÍTULO 3

Gobernanza institucional, fiscalización y la matriz de impacto económico

3.1. Del Conocimiento Técnico a la Implementación Legal

Los capítulos previos han establecido el cómo el diseño sismorresistente chileno (muros de corte continuos, detallado dúctil del acero NCh204) neutraliza mecánicamente los modos de falla catastróficos observados en Venezuela (piso blando, colapso panqueque). No obstante, el conocimiento técnico es fútil sin un marco institucional y económico que garantice su aplicación. Este capítulo aborda la reingeniería de la gobernanza, moviendo el enfoque de la respuesta al desastre hacia la mitigación obligatoria del riesgo soberano.

3.2. Gobernanza Institucional y Fiscalización: El Seguro "Ex-Ante"

a) El Modelo Chileno de Responsabilidad Solidaria (LGUC y Revisor Independiente)

El pilar de la fiscalización chilena no descansa en permisos municipales burocráticos, sino en la figura legal del Revisor Independiente de Cálculo Estructural, mandado por la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC). Esta figura, un ingeniero externo con amplia experiencia y certificado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, realiza una segunda auditoría completa de los planos y la memoria de cálculo antes de que se emita el permiso de construcción (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2011).

El impacto de esta figura es profundo: elimina el punto único de falla (el error de un solo ingeniero) y establece una responsabilidad solidaria (responsabilidad estricta por 10 años) entre el ingeniero calculista original, el constructor, y el revisor independiente. Este "seguro ex-ante" incentiva un cumplimiento riguroso de las normas sismorresistentes (NCh433/NCh430) para evitar litigios catastróficos.

b) Contraste con el Modelo Venezolano Actual y Propuesta de Integración

El modelo venezolano actual, ejemplificado en el manual de inspecciones de FUNVISIS, posee un enfoque predominantemente Ex-Post (reactivo) (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), 2001) (López, y otros, 2022). El protocolo de etiquetado (Rojo, Amarillo, Verde) es una herramienta vital después del sismo para clasificar la seguridad de las estructuras dañadas (López, y otros, 2022).

La propuesta monográfica central es integrar ambos enfoques. La inspección de FUNVISIS no debe ser el final del proceso, sino el disparador legal. Una etiqueta Roja o Amarilla debe activar una auditoría estructural obligatoria ejecutada bajo la figura de un Revisor Independiente (adaptado de la LGUC). Este revisor certificaría que el proyecto de reingeniería obligatoria (Reforzamiento/Retrofitting) cumple con los estándares de desempeño modernos para anular la vulnerabilidad residual, transformando la inspección reactiva en una mitigación preventiva.

3.3. Matriz de Impacto Económico: El Costo de la Inacción vs. la Inversión Preventiva

a) El Costo Macroeconómico del Desastre (El Riesgo Soberano del 2% PIB)

La inacción legislativa y la ausencia de fiscalización preventiva colocan al país en un estado de riesgo soberano latente. El costo de un colapso total (inacción) es devastador macroeconómicamente. Se estima que las pérdidas económicas directas e indirectas de un sismo mayor en zonas urbanas críticas (como La Guaira/Caracas) pueden comprometer hasta el 2% del PIB nacional. Este costo incluye no solo la reconstrucción total de activos, sino la pérdida de actividad económica, costos sociales de emergencia, indemnizaciones, y el impacto sobre infraestructura esencial (como puertos).

b) El Análisis de Costo-Beneficio del Reforzamiento (Retrofitting)

El argumento financiero a favor de la intervención preventiva es incontestable. Intervenir el parque antiguo mediante técnicas de reingeniería (como el encamisado de columnas o la adición de disipadores) cuesta solo del 15% al 25% del valor de un colapso total (valor de reposición de 100%).

El reforzamiento preventivo no es un costo hundido; es una inversión que protege el 100% del valor del activo y neutraliza el riesgo de pérdidas macroeconómicas catastróficas. Este análisis demuestra que la inacción es diez veces más costosa que la prevención.

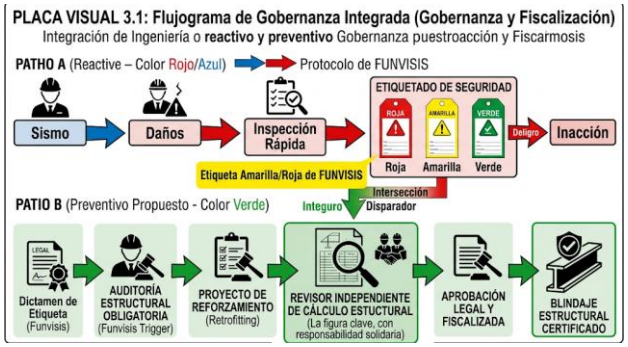
3.4. Respaldo Visual de Gobernanza y Economía

Placa Visual 3.1: *Flujograma de Gobernanza Integrada (Gobernanza y Fiscalización)*

Objetivo Ingenieril: El objetivo de esta lámina es proponer una evolución en la gobernanza estructural, integrando el protocolo reactivo tradicional de evaluación de daños post-sismo (ex-post) con un sistema de fiscalización preventiva y vinculante (ex-ante). Busca demostrar cómo transformar un simple diagnóstico de vulnerabilidad (etiquetas de daño) en un mecanismo legal automático que obligue a la reingeniería y reforzamiento de las edificaciones, erradicando el riesgo de abandono o inacción.

Detalle Visual: Esta lámina ilustra un flujograma de gobernanza estructurado en dos vías principales que se intersectan.

- En la parte superior, la **Ruta A (Reactiva - Color Rojo/Azul)** muestra el protocolo actual de FUNVISIS: ocurre un sismo, genera daños, se realiza una inspección rápida y se otorgan etiquetas de seguridad (Roja, Amarilla, Verde). Una flecha roja resalta el peligro actual: las etiquetas Roja y Amarilla suelen derivar en "Inacción".
- El punto central de la infografía establece la Etiqueta Amarilla/Roja como un **"Disparador" (Trigger**) vinculante que conecta con la vía inferior.
- En la parte inferior, la **Ruta B (Preventiva Propuesta - Color Verde)** detalla el nuevo flujo de seguridad: el dictamen de la etiqueta activa una "Auditoría Estructural Obligatoria", la cual deriva en un "Proyecto de Reforzamiento (Retrofitting)". Este proyecto debe pasar por la figura clave del **"Revisor Independiente de Cálculo Estructural"** (quien asume responsabilidad solidaria), para finalmente obtener una aprobación legal fiscalizada que culmina en un "Blindaje Estructural Certificado".

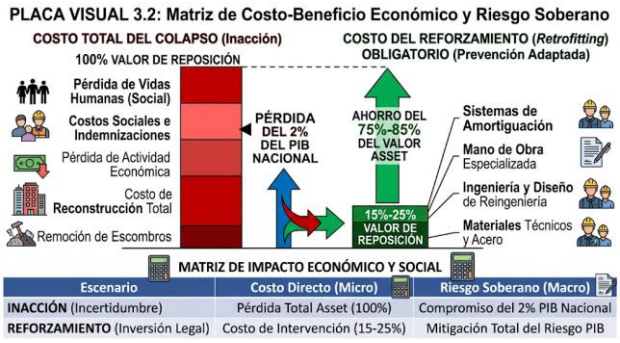


Fundamento Técnico: El fundamento técnico radica en la política pública de mitigación de riesgo y seguridad civil. Las inspecciones post-sismo (basadas en metodologías como ATC-20) son herramientas de triaje excelentes para clasificar la habitabilidad inmediata de un edificio, pero carecen de fuerza correctiva. Un edificio con etiqueta Amarilla o Roja tiene su capacidad sismorresistente severamente comprometida y es vulnerable a réplicas. Al articular este diagnóstico técnico con una normativa de fiscalización rigurosa (inspirada en la figura del Revisor Independiente de la normativa chilena), se garantiza que la anomalía estructural sea corregida mediante procedimientos de ingeniería de detalle antes de que el edificio vuelva a ser ocupado, protegiendo así la vida humana de forma activa y no solo declarativa**.**

Placa Visual 3.2*: Matriz de Costo-Beneficio Económico y Riesgo Soberano*

Objetivo Ingenieril: El objetivo ingenieril y financiero de esta lámina es fundamentar económicamente la necesidad de intervenir el parque estructural vulnerable. Busca demostrar de manera cuantitativa que el reforzamiento sísmico preventivo (retrofitting) es una estrategia macroeconómicamente superior frente a asumir los costos catastróficos asociados al colapso, transformando la ingeniería preventiva en una inversión de alto rendimiento para la mitigación del riesgo soberano.

Detalle Visual: Esta lámina ilustra un gráfico comparativo y una matriz de impacto financiero. En el lado izquierdo (Color Rojo), el "Costo Total del Colapso (Inacción)" se representa con una barra que abarca el 100% del valor de reposición. Esta barra desglosa factores de pérdida catastrófica: remoción de escombros, reconstrucción, pérdida de actividad económica, costos sociales y pérdida de vidas humanas, apuntando a una afectación macroeconómica del 2% del PIB Nacional. En el lado derecho (Color Verde), el "Costo del Reforzamiento (Retrofitting)" se muestra con una barra significativamente menor (15%-25% del valor de reposición), detallando la inversión en materiales, ingeniería, mano de obra y sistemas de amortiguación. Una gran flecha verde indica un ahorro del 75%-85% del valor del activo. En la base, la "Matriz de Impacto Económico y Social" resume de forma estructurada ambos escenarios, contrastando la pérdida total y el compromiso del PIB frente a la mitigación total del riesgo mediante la inversión preventiva.



Fundamento Técnico: El fundamento técnico se apoya en la economía de la mitigación de desastres. Desde la perspectiva de la ingeniería de ciclo de vida y la resiliencia estructural, permitir que una edificación alcance su estado límite de colapso implica no solo la pérdida total del activo físico (costo directo), sino que detona externalidades negativas masivas (lucro cesante, crisis habitacional y pérdida de vidas). La técnica del retrofitting aplica el principio de intervención localizada: al invertir una fracción controlada del capital (15% a 25%) en rigidizar y dotar de ductilidad a la estructura existente, se garantiza su desempeño bajo demanda sísmica severa. Esto neutraliza la incertidumbre asociada a la inacción y blinda la infraestructura, protegiendo tanto el patrimonio microeconómico como la estabilidad macroeconómica del país.

CAPÍTULO 4

Ingeniería de reforzamiento estructural (retrofitting): estrategias chilenas aplicadas al parque venezolano

4.1. Introducción al Blindaje de Estructuras Vulnerables

El diagnóstico realizado en el Capítulo 1 sobre el colapso del Macuto Sheraton demostró que el talón de Aquiles de la edificación antigua venezolana reside en la irregularidad de Piso Blando y la ausencia de confinamiento sísmico en las uniones viga-columna (nodos). El Capítulo 3 validó económicamente que intervenir este parque es diez veces más rentable que asumir el costo del desastre.

En este capítulo, desglosaremos la ingeniería de implementación. El objetivo del ***Retrofitting*** (Reforzamiento) bajo el estándar chileno no es simplemente "arreglar grietas", sino **blindar la estructura** para neutralizar mecánicamente los modos de falla catastróficos, garantizando que el edificio pueda deformarse de manera plástica sin colapsar (ductilidad).

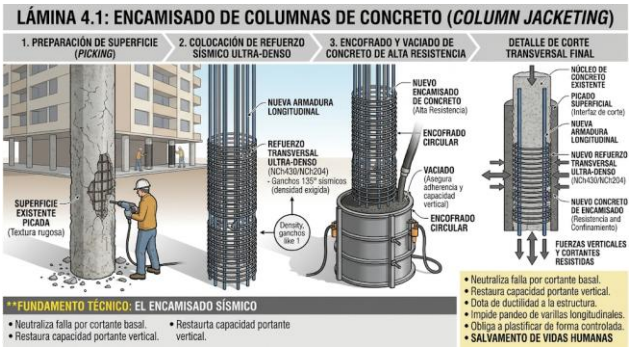
4.2. Catálogo Visual de Estrategias Técnicas de Implementación

Para cumplir con el requerimiento de un compendio densamente ilustrado, hemos confeccionado un portafolio de ingeniería que desglosa visualmente las tres técnicas clave de reforzamiento, detallando la correcta aplicación de la tecnología de los materiales (Acero NCh204).

***Placa Visual 4.1**: Encamisado de columnas de concreto (column jacketing)*

Objetivo de Ingeniería: Neutralizar la falla por cortante y aplastamiento en las columnas basales vulnerables (el nodo del piso blando). Esta técnica restituye la capacidad portante vertical y dota de ductilidad a la base del edificio.

Detalle Visual: La Lámina 4.1 muestra el proceso secuencial en una columna circular existente. Se debe picar la superficie antigua para garantizar la adherencia, colocar una armadura de confinamiento transversal ultra-densa (espirales o estribos cerrados con ganchos a 135°, exigidos por NCh430 y NCh204, y vaciar concreto de alta resistencia.

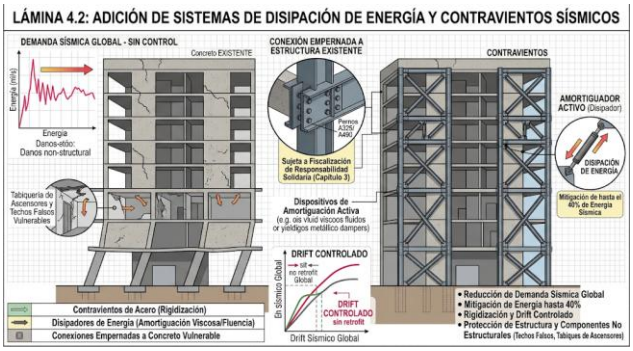


Fundamento Técnico: El "encamisado" confina el núcleo de concreto existente, impidiendo el pandeo de las barras longitudinales y obligando al material a plastificarse (Rebonatto D., 2026(b)) de forma controlada sin perder su capacidad de carga vertical, salvando la vida humana.

***Placa Visual 4.2**: Adición de sistemas de disipación de energía y contravientos sísmicos*

Objetivo de Ingeniería: Reducir drásticamente la demanda sísmica global que impacta a la estructura existente, absorbiendo y disipando la energía antes de que dañe los elementos de concreto vulnerable.

Detalle Visual: La Lámina 4.2 ilustra la instalación de marcos de acero (Rebonatto D., 2026(b)) en diagonal equipados con dispositivos de amortiguación activa en las fachadas. Las conexiones a las vigas y columnas de concreto existentes deben ser empernadas (Rebonatto D., 2026(b)) y estar sujetas a la fiscalización de responsabilidad solidaria del Capítulo 3.

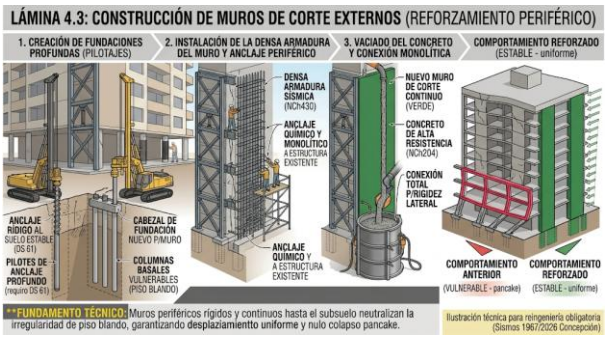


Fundamento Técnico: Al rigidizar la estructura e incorporar disipadores, se reduce el desplazamiento lateral (*Drift* controlled), mitigando hasta el 40% de la energía del sismo. Esto protege no solo la estructura, sino también los componentes no estructurales, como los techos falsos y la tabiquería de ascensores que fallaron en el Sheraton.

***Placa Visual 4.3**: Construcción de muros de corte externos (reforzamiento periférico)*

Objetivo de Ingeniería: Proveer rigidez lateral y redundancia estructural a edificios de pórticos vulnerables, dotándolos del "Modelo de Muros de Corte Continuos" chileno.

Detalle Visual: La Lámina 4.3 detalla la construcción secuencial: primero, la creación obligatoria de fundaciones profundas (pilotajes) para asegurar el anclaje rígido al suelo estable (exigencia del DS 61), seguida de la instalación de la densa armadura de muro y el vaciado del concreto.



Fundamento Técnico: Al adherir muros periféricos rígidos que continúan sin interrupciones hasta el subsuelo, se neutraliza la irregularidad de piso blando, garantizando que el edificio se desplace de manera uniforme y estable, anulando el colapso panqueque.

***Placa Visual 4.4**: Efecto global de la reingeniería: del piso blando al blindaje estructural*

Objetivo de Ingeniería: Demostrar visualmente cómo la implementación integrada de estas técnicas transforma radicalmente el comportamiento dinámico del edificio.

Detalle Visual: La Lámina 4.4 presenta una comparativa final del mismo edificio. A la izquierda (Estado Inicial), se observa la concentración de esfuerzo cortante en la base (zona roja). A la derecha (Estado Intervenido), se muestra una estructura rígida y continua, donde las fuerzas sísmicas fluyen de forma homogénea (flechas verdes).



Fundamento Técnico: Esta transformación es el **Blindaje Estructural**. Al rigidizar la base, confinar las columnas y disipar la energía, se garantiza una deformación controlada en el rango plástico, salvaguardando la vida humana y protegiendo el 100% del valor del activo macroeconómico.

CONCLUSIONES GENERALES

La vulnerabilidad sísmica del parque edificado no es una fatalidad ineludible de la naturaleza, sino el resultado directo de configuraciones estructurales discontinuas y carencias normativas en el detallado de los materiales. El análisis exhaustivo del colapso histórico del Hotel Macuto Sheraton y la patología de los elementos de concreto armado demuestran que las metodologías reactivas de evaluación post-sismo, aunque vitales para el triaje de emergencias, son insuficientes para garantizar la seguridad civil a largo plazo.

Para transformar esta realidad, este manual establece que la mitigación del riesgo debe fundamentarse en tres pilares innegociables de resiliencia urbana:

- **Ingeniería de Ductilidad y Continuidad:** La adopción de los principios de diseño de la normativa chilena (NCh433 y NCh430) exige la eliminación de irregularidades verticales como el piso blando mediante muros de corte continuos hasta la fundación, y la implementación de confinamiento triaxial ultra-denso (ganchos sísmicos a 135°) para evitar el colapso frágil y garantizar la disipación de energía.
- **Gobernanza Preventiva y Responsabilidad Solidaria**: Es imperativo sustituir la inacción legal derivada de las etiquetas de daño por un sistema de fiscalización vinculante. La incorporación de la figura del Revisor Independiente de Cálculo Estructural convierte el diagnóstico de vulnerabilidad en una obligación ineludible de reingeniería (retrofitting), erradicando el riesgo de abandono institucional.
- **Rentabilidad Macroeconómica de la Prevención:** El reforzamiento estructural constituye una inversión estratégica de alto rendimiento. Asumir un costo de intervención preventivo equivalente al 15%-25% del valor de reposición del inmueble blinda el 100% del activo físico y protege al país de un compromiso catastrófico estimado en un 2% del PIB nacional frente a un evento sísmico severo.

En definitiva, el blindaje estructural sismorresistente trasciende el cálculo matemático; es una política integral de Estado. Al unificar el diagnóstico clínico de la ingeniería venezolana con el rigor preventivo y legal de la ingeniería chilena, se traza una ruta definitiva para dejar de administrar el desastre y comenzar a garantizar la resiliencia de las ciudades y la preservación de la vida humana.

Referencias

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). (2001). *Manual para la Inspección y Evaluación Post-Sísmica de Edificaciones*. Caracas, Venezuela.

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2006). *NCh203 y NCh204: Aceros para uso estructural y Hormigón Armado*. Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2008). *NCh430.Of2008 Hormigón armado - Requisitos de diseño y cálculo*. Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2012). *NCh433.Of1996 Diseño sísmico de edificios (Modificada en 2012)*. Santiago, Chile.

López, O., Coronel D., G., Fierro, F., Marinilli, A., Ginés, C., & Urich, A. (2022). *Evaluación Rápida de Daños en Edificaciones: Manual de Entrenamiento. Versión 02-05-2022*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) e Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME-UCV), Caracas, Venezuela.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2011). *Decreto 61: Reglamenta diseño sísmico de edificios*. Santiago, Chile.

Rebonatto D., M. (2026(a)). *Terremotos en Venezuela y el Modelo Chileno: Análisis de los Colapsos en Caracas y La Guaira bajo la Normativa NCh433*. Zenodo / INGMARD - Consultoría Técnica Sismorresistente, Concepción, Chile.

Rebonatto D., M. (2026(b)). *El Acero en la Industria Chilena: Proceso Productivo, Propiedades Mecánicas, Requisitos Sísmicos y Análisis de Mercado*. INGMARD - Consultoría Técnica Sismorresistente, Concepción, Chile.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 268 – 274
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/180

EVIDENCIAS EMPÍRICAS DEL IMPACTO DEL COMPORTAMIENTO DEL SUELO EN LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES DURANTE EL TERREMOTO DEL 24 DE JUNIO DEL 2026 EN VENEZUELA

Francisco PINTO[1]

RESUMEN

El terremoto del 24 de junio de 2026 produjo patrones contrastantes de daño en edificaciones de Caracas y La Guaira. Este comentario técnico presenta evidencias empíricas de la influencia del comportamiento del suelo sobre la respuesta estructural, a partir de observaciones recopiladas durante dos campañas de reconocimiento postsísmico. En Caracas, el daño y los colapsos afectaron edificaciones de seis a veintiún niveles. Su distribución espacial se analiza considerando la geometría y rigidez variables de la cuenca sedimentaria y la posible compatibilidad entre los períodos del suelo y de las estructuras, sin excluir la influencia de la antigüedad, el sistema resistente, las irregularidades, las intervenciones y la condición previa. En Catia La Mar, edificaciones de altura comparable presentaron distintos grados de daño estructural, desde fallas localizadas hasta colapso parcial. Estas diferencias se discuten considerando la licuación en las zonas costeras bajas, la deformación localizada en los márgenes de la terraza de Playa Grande y los posibles efectos topográficos. En Caraballeda, los abanicos aluviales con una marcada heterogeneidad horizontal y vertical, con depósitos de poca profundidad y gruesos en la zona alta y sedimentos más profundos y saturados hacia la costa. Un pulso de velocidad direccional característico de un evento cercano a la falla, inferido mediante cámaras de seguridad, coincidió con evidencias generalizadas de licuación, relajamiento lateral, asentamiento y desplazamiento permanente del terreno. El desempeño contrastante de las estructuras del antiguo Hotel Sheraton también destaca la influencia del tipo de fundación y de la configuración estructural. Las observaciones demuestran que una cimentación puede conservar su integridad resistente y, al mismo tiempo, transmitir asentamientos, rotaciones y traslaciones a la superestructura. La evaluación postsísmica debe correlacionar la deformación del terreno, el movimiento de la cimentación y la respuesta estructural residual dentro de un mismo sistema de referencia espacial.

ABSTRACT

Empirical evidence of the impact of soil behavior on the structural response of buildings during the June 24, 2026 earthquake in Venezuela

The June 24, 2026 earthquake produced contrasting patterns of building damage in Caracas and La Guaira. This technical commentary presents empirical evidence of the influence of soil behavior on structural response, based on observations collected during two post-earthquake reconnaissance campaigns. In Caracas, damage and collapse affected buildings ranging from six to twenty-one storeys. Their spatial distribution is analyzed considering the variable geometry and stiffness of the sedimentary basin and the possible compatibility between soil and structural periods, without excluding the influence of building age, lateral-force-resisting system, irregularities, previous interventions, and prior condition. In Catia La Mar, buildings of comparable height exhibited different levels of structural damage, ranging from localized failures to partial collapse. These differences are discussed considering liquefaction in low-lying coastal areas, localized ground deformation along the margins of the Playa Grande terrace, and potential topographic effects. In Caraballeda, the alluvial fans exhibit marked horizontal and vertical heterogeneity, with relatively shallow coarse deposits in the upper sector and deeper saturated sediments toward the coast. A directional velocity pulse characteristic of a near-fault event, inferred from security-camera recordings, coincided with widespread evidence of liquefaction, lateral spreading, settlement, and permanent ground displacement. The contrasting performance of the structures within the former Sheraton Hotel complex also highlights the influence of foundation type and structural configuration. The observations demonstrate that a foundation may retain its structural integrity while transmitting settlements, rotations, and translations to the superstructure. Post-earthquake assessment should therefore correlate ground deformation, foundation movement, and residual structural response within a common spatial reference system.

Palabras clave: Evidencia empírica; comportamiento del suelo; respuesta estructural; licuación; interacción suelo estructura; Venezuela.
Keywords: Empirical evidence; soil behavior; structural response; liquefaction; soil-structure interaction; Venezuela.

[1] Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Beauchef 850, Santiago, Chile. Correo-e: franpinto@uchile.cl

1. Introducción

La secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 incluyó un evento Mw 7,2 y, aproximadamente 38 s después, un evento Mw 7,5 asociado preliminarmente con ruptura dextral del sistema de fallas de San Sebastián (FUNVISIS 2026a, 2026b). La proximidad de la fuente y la propagación hacia el este impusieron una demanda severa sobre el centro norte de Venezuela. Sin embargo, la distribución del daño no fue uniforme. Caracas mostró concentraciones recurrentes en sectores de la cuenca sedimentaria. En La Guaira, Catia La Mar presentó licuación costera e inestabilidad en los márgenes de una terraza sedimentaria, mientras que Caraballeda mostró deformación extensa sobre el sector distal de un abanico aluvial.

El objetivo de este comentario es presentar y analizar evidencias empíricas del impacto del comportamiento del suelo sobre la respuesta estructural de las edificaciones. En Caracas se examina la correspondencia espacial entre la respuesta de la cuenca, los períodos predominantes y el daño en edificios de diferentes alturas. En Catia La Mar y Caraballeda se analiza cómo la pérdida de soporte y la deformación permanente del terreno impusieron asentamientos, giros y traslaciones a las cimentaciones. La evidencia se interpreta sin atribuir causalidad únicamente al suelo, pues la altura, la edad, el sistema resistente, las intervenciones y la condición previa también controlan el desempeño.

Este comentario integra dos campañas de reconocimiento. La primera comenzó tres días después del sismo y se orientó al apoyo técnico y la evaluación preliminar; la segunda, cerca de dos meses después, seleccionó casos para la caracterización de suelos, cimentaciones y estructuras. En Caracas, el número de pisos, la edad aparente, el sistema resistente y el tipo de daño se adoptan como variables básicas para organizar las observaciones. En Catia La Mar y Caraballeda se prioriza la relación entre la unidad geomorfológica, la deformación del terreno, el movimiento de la cimentación y la respuesta residual de la edificación.

2. Evidencias empíricas del impacto del suelo en la respuesta estructural en Caracas

En Caracas se documentaron daños severos y colapsos en edificaciones de alturas distintas. Los casos publicados incluyen el Edificio Juvenal, residencia de seis pisos y más de sesenta años de antigüedad en San Bernardino, y una torre de dieciséis pisos del conjunto Petunia en Los Palos Grandes (SINGER 2026; MESONES ROJO 2026). En ese conjunto se inspeccionó también el Petunia II, de veintiún niveles, construido entre 1965 y 1966 y reforzado en 1968 (MAGLIONE DI GUIDA y GRASES 2011). El intervalo de seis a veintiún niveles confirma que la altura no explica por sí sola el desempeño.

La ciudad ocupa una depresión tectónica alargada, limitada por rocas metamórficas y rellena por depósitos aluviales pleistocenos y holocenos de marcada heterogeneidad lateral y vertical. El espesor de sedimentos es menor de 10 m cerca de los bordes, supera 100 m en sectores centrales y orientales y excede localmente 200 m en Los Palos Grandes. Los perfiles disponibles indican velocidades de onda de corte de aproximadamente 200 a 500 m/s en los estratos someros y de 500 a 800 m/s a mayor profundidad, frente a valores cercanos a 2500 m/s en el basamento. Este contraste de impedancia, combinado con la geometría profunda de la cuenca, favorece atrapamiento de ondas, reverberaciones y generación de ondas superficiales (SCHMITZ et al. 2020).

La caracterización dinámica de Caracas combina información de perforaciones y excavaciones con mediciones sísmicas, gravimetría, arreglos instrumentales y vibraciones ambientales. Las mediciones H/V identifican en el sector oriental profundo máximos alrededor de 0,6 Hz, equivalentes a períodos cercanos a 1,7 s. Estos períodos aumentan con el espesor de sedimentos y constituyen una variable central de la microzonificación sísmica, junto con Vs30, la geometría del basamento y la geología superficial (ROCABADO et al. 2011; SCHMITZ et al. 2020).

La altura de una edificación se relaciona con su período fundamental, la participación de modos superiores, la distribución de cortantes y la demanda de desplazamiento. Por esta razón, los períodos largos de los sectores profundos pueden coincidir con la respuesta de edificios de mediana y gran altura y aumentar sus derivas cuando existe compatibilidad entre el contenido frecuencial del movimiento y los modos estructurales. Esta interpretación es coherente con el daño de 1967, cuando los cuatro edificios colapsados en Los Palos Grandes y Altamira tenían 10, 12, 10 y 11 entrepisos, y con la recurrencia del daño en 2026. Sin embargo, la coincidencia de períodos no demuestra causalidad ni excluye efectos bidimensionales y tridimensionales de la cuenca (SEED et al. 1970; PAPAGEORGIOU y KIM 1991).

Los casos inspeccionados, de seis a veintiún niveles, muestran que no existe una única franja crítica. Dos edificios con alturas semejantes pueden tener períodos y capacidades diferentes según su sistema resistente, dimensiones, muros de relleno, irregularidades, intervenciones y estado de conservación. El análisis debe comparar el período medido de cada estructura con el período del suelo en su emplazamiento y utilizar como denominador el inventario total de edificios expuestos en cada clase de altura.

La Figura 1 confirma que la altura debe analizarse junto con la antigüedad y el tipo de intervención. El Petunia II, construido entre 1965 y 1966, permaneció en pie después de ser reforzado en 1968 con muros de concreto hasta el piso 8, columnas perimetrales engrosadas hasta el nivel 21 y una transición de rigidez en los niveles 9 y 10 (MAGLIONE DI GUIDA y GRASES 2011). En cambio, la torre de 16 pisos cuya intervención se concentró en ampliar columnas colapsó. En San Bernardino, el arriostramiento exterior de (e) aumenta la rigidez lateral, mientras que (f) muestra el colapso de seis niveles. Estos contrastes no prueban causalidad, pero exigen analizar continuidad de rigidez, resistencia y ductilidad, irregularidades, condición previa y períodos del suelo y la estructura.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Figura 1. *Edificaciones inspeccionadas en Caracas: Los Palos Grandes, (a) torre de unos 16 niveles, (b) edificio de unos 11 niveles con daño de cerramientos y balcones y (c) conjunto Petunia, con el Petunia II de 21 niveles en pie y el área de la torre de 16 pisos colapsada; San Bernardino, (d) y (e) edificios de unos siete niveles, con arriostramiento diagonal exterior en (e), y (f) colapso de una edificación de seis niveles.*

Fuente: fotografías de F. Pinto, campaña de reconocimiento postsísmico de 2026.

3. Evidencias empíricas del impacto del suelo en la respuesta estructural en La Guaira

En La Guaira, el impacto del comportamiento del suelo sobre las edificaciones se expresó principalmente a través de deformaciones permanentes del terreno y de los movimientos que estas impusieron a las cimentaciones. La respuesta observada varió con el ambiente geomorfológico. En Catia La Mar coexistieron la terraza pleistocena del Grupo Cabo Blanco, sus bordes urbanizados y las franjas costeras bajas; en Caraballeda, el desarrollo urbano se extiende sobre abanicos aluviales heterogéneos con nivel freático somero y descarga hacia el litoral. En los depósitos granulares saturados de la zona distal, la carga cíclica favoreció el aumento de la presión de poros, la pérdida de esfuerzo efectivo y la reducción de rigidez y resistencia. Cuando esta degradación se combinó con una superficie libre o con cambios de pendiente, se produjeron asentamientos, rotaciones y desplazamientos laterales. Las Figuras 2 a 4 presentan la evidencia desde esta secuencia física: comportamiento del suelo, deformación del terreno, movimiento de la cimentación y respuesta estructural (PINTO et al. 2026).



(a) (b)

Figura 2. *Respuesta de las edificaciones en Catia La Mar: (a) edificios de unos 10 a 15 niveles que permanecieron en pie sobre el margen de la terraza de Playa Grande, con daño estructural de grado variable; (b) colapso parcial y asimétrico de una edificación de unos 12 niveles.*

Fuente: fotografías de F. Pinto, segunda campaña de reconocimiento postsísmico, agosto de 2026.

3.1 Catia La Mar

Catia La Mar mostró respuestas estructurales diferentes en edificaciones de altura comparable. La Figura 2(a) presenta edificios de aproximadamente 10 a 15 niveles que permanecieron en pie en el entorno del margen de la terraza de Playa Grande, aunque mostraron daño estructural cuyo grado varió de una edificación a otra. La Figura 2(b), en cambio, muestra el colapso asimétrico de una edificación de alrededor de 12 niveles en el mismo sector. Este contraste indica que ni el número de pisos ni la condición de permanencia en pie describen por sí solos el desempeño. La interpretación debe incorporar la posición del edificio dentro de la unidad geomorfológica, la intensidad y distribución del daño, la posible pérdida de soporte o movimiento de la cimentación, el sistema resistente, la regularidad, la antigüedad, las intervenciones y la condición previa.

En este sentido, las observaciones de campo permiten distinguir dos expresiones generales del comportamiento del suelo. En las zonas costeras bajas, la presencia de surgencias de arena, fisuras, asentamientos y pérdida de soporte es compatible con licuación y deformación lateral de depósitos saturados. En los bordes de la terraza, la respuesta estuvo asociada a deformaciones e inestabilidades localizadas del terreno, capaces de modificar el soporte lateral y vertical de las cimentaciones. La geometría de la terraza y la proximidad de las edificaciones a su borde también hacen necesario considerar efectos topográficos, incluida una posible modificación espacial de la amplitud y del contenido frecuencial del movimiento. Esta hipótesis debe evaluarse mediante mediciones y análisis específicos, y no inferirse únicamente del daño. Tanto la deformación del terreno como los efectos topográficos pueden contribuir a respuestas distintas entre edificios cercanos. Por ello, las fotografías de la Figura 2 deben leerse como evidencia del desempeño final de las estructuras, pero no como demostración aislada del mecanismo causal. Su evaluación requiere relacionar la intensidad y distribución del daño con la posición topográfica, la deformación del terreno y la respuesta de la cimentación.

3.2 Caraballeda

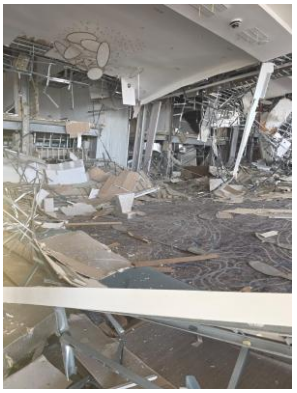
Caraballeda se emplaza sobre abanicos aluviales coalescentes con una marcada heterogeneidad horizontal y vertical. La estratigrafía puede cambiar en distancias cortas y alternar materiales muy gruesos, incluidos bloques, gravas y arenas gruesas, con capas de arenas finas, limos y otros sedimentos de menor tamaño. También varían la compacidad, la continuidad de los estratos y la profundidad del basamento. En términos generales, en la zona alta los sedimentos son menos profundos y predominan materiales más gruesos; hacia la zona distal, el relleno sedimentario alcanza mayor profundidad, incorpora depósitos más sueltos o retrabajados y se encuentra saturado por un nivel freático somero. Esta configuración es consistente con la dinámica sedimentaria documentada durante las lluvias de 1999, que incorporaron grandes volúmenes de sedimentos y modificaron localmente la superficie del abanico (WIECZOREK et al. 2002). Debido a esta heterogeneidad y a la nueva información recopilada, los períodos fundamentales publicados para Macuto, Caraballeda y Tanaguarena deben reevaluarse mediante la caracterización desarrollada durante la segunda campaña (ROMERO et al. 2006).



(a)



(b)



(c)

Figura 3. *Respuesta diferenciada en el antiguo Hotel Sheraton de Caraballeda: (a) vista general del complejo y de sus distintos cuerpos; (b) estructura nueva y robusta de hormigón armado con muros, históricamente fundada sobre pilotes y sin daño estructural evidente durante la inspección; (c) daño severo en el anexo reciente de acero, no fundado sobre pilotes, con colapso local y grandes deformaciones de sus componentes.*

Fuente: fotografías de F. Pinto, segunda campaña de reconocimiento postsísmico, agosto de 2026.

A las condiciones de la respuesta geotécnicas sísmica del abanico se sumó una demanda sísmica característica de un evento cercano a la falla. El movimiento inferido a partir de cámaras de seguridad mostró un pulso de velocidad de gran amplitud y marcado carácter direccional, compatible con efectos de directividad asociados con la propagación de la ruptura. Los análisis indican que este pulso concentró una parte importante de la demanda en períodos relevantes para edificaciones de mediana altura y para sistemas suelo-cimentación susceptibles a deformaciones permanentes. Su

dirección y contenido temporal son coherentes con la orientación predominante de algunos desplazamientos del terreno y con la concentración del daño en el sector distal del abanico. Esta correspondencia no demuestra una relación causal directa, pero permite interpretar conjuntamente la demanda sísmica cercana a la fuente, la pérdida de rigidez y resistencia de los depósitos saturados, la expansión lateral y la respuesta diferenciada de las edificaciones (BUSTOS et al. 2026).

La evidencia más clara del impacto del suelo se concentró en el sector distal. Allí se documentaron surgencias de arena, asentamientos, fisuras, rotaciones y desplazamientos hacia el litoral, compatibles con licuación y relajación lateral. Este patrón muestra que la demanda no se limitó a vibraciones transitorias: el terreno experimentó deformaciones permanentes que debieron ser acomodadas por las cimentaciones y las superestructuras. La Figura 3 ilustra cómo este ambiente general de deformación produjo respuestas contrastantes entre los distintos cuerpos estructurales del antiguo Hotel Sheraton.

Los tres cuerpos de la Figura 3 estuvieron expuestos al mismo ambiente general de deformación, pero no desarrollaron la misma respuesta. El edificio original, dañado en 1967 y reforzado posteriormente, presentó fallas localizadas principalmente en vigas. El edificio más reciente de hormigón armado, configurado con muros robustos, no mostró daño estructural evidente durante la inspección. Ambos cuerpos de hormigón se reconocen históricamente como estructuras fundadas sobre pilotes. En contraste, el anexo de acero, que aparentemente no estaba fundado sobre pilotes, experimentó colapso parcial y deformaciones importantes en columnas, vigas y componentes del sistema de resistencia lateral. La diferencia en el sistema de fundación constituye, por tanto, una variable central para interpretar la transferencia de asentamientos y desplazamientos laterales desde el terreno. Sin embargo, el contraste no puede atribuirse únicamente a los pilotes: la rigidez, la continuidad, la redundancia, el detalle de las conexiones y las intervenciones previas también controlaron la forma en que cada estructura acomodó la demanda cinemática.



(a) (b)

(c) (d)

Figura 4. *Variación espacial del daño en el abanico de Caraballeda: (a) y (b) edificaciones de la zona alta, con daño visible pero sin colapso global; (c) y (d) daño y colapso observados en el sector distal.*

Fuente: fotografías de F. Pinto, campañas de reconocimiento postsísmico de 2026.

La Figura 4 extiende esta interpretación a lo largo del abanico. En la zona alta, las edificaciones conservaron su estabilidad global, aunque presentaron daño local. En la zona distal, caracterizada por menor pendiente, nivel freático somero y depósitos potencialmente más sueltos o retrabajados, coexistieron edificios en pie, daño severo y colapsos. Esta distribución es compatible con una mayor susceptibilidad a licuación y expansión lateral hacia la costa, pero no demuestra

que la posición geomorfológica haya controlado por sí sola cada respuesta. Para establecer esa relación se requieren levantamientos de la deformación del terreno y de las cimentaciones, junto con la identificación del sistema resistente, la antigüedad, las irregularidades, las intervenciones y la condición previa de cada edificio.

3.3 Deformación del terreno, movimiento de la cimentación y respuesta estructural

Las observaciones de Catia La Mar y Caraballeda requieren separar dos verificaciones que suelen confundirse: la integridad estructural de la fundación y su estabilidad cinemática. Pilotes, losas o vigas de fundación pueden conservar su capacidad y no mostrar daño visible, pero acompañar el asentamiento, la rotación o la traslación del suelo. En ese caso, la cimentación transmite desplazamientos y giros a la superestructura sin que exista necesariamente una falla resistente de sus elementos. La respuesta resultante depende de la distribución espacial de la deformación del terreno, la geometría de la cimentación y la rigidez relativa del sistema suelo cimentación estructura (BRAY y DASHTI 2014; TOKIMATSU et al. 2019).

El efecto estructural depende del modo de deformación impuesto. Un asentamiento aproximadamente uniforme puede afectar accesos, tuberías y juntas sin producir una distorsión importante del sistema resistente. El asentamiento diferencial induce curvatura y redistribución de cargas; la rotación modifica la verticalidad y amplifica los efectos P delta; y la traslación diferencial o la expansión lateral puede generar distorsión de entrepisos, torsión y demandas localizadas en columnas, vigas, muros y conexiones. En consecuencia, la ausencia de daño material en la cimentación no descarta que su movimiento haya iniciado o amplificado el daño de la edificación.

La evaluación postsísmica debe correlacionar tres niveles de información dentro de un mismo sistema de referencia: la deformación del terreno, los desplazamientos laterals y giros de la fundación y la respuesta residual de la estructura, expresada mediante inclinación, deriva, torsión y fisuración. La compatibilidad espacial y direccional entre estas mediciones, apoyada por un modelo del sistema suelo cimentación estructura, permite distinguir la respuesta inercial durante el sismo de los efectos cinemáticos y de la deformación permanente. En edificios con sótanos también deben incorporarse la rigidez del subterráneo, el contacto con el suelo y las presiones laterales sobre los muros, porque estos componentes modifican la transferencia de movimiento entre el terreno y la superestructura (PINTO et al. 2022, 2023).

4. Comentario final

Las evidencias recopiladas muestran que el comportamiento del suelo influyó en la respuesta estructural mediante mecanismos diferentes en Caracas y La Guaira, pero también que el daño no puede explicarse a partir de una sola variable. En Caracas, la recurrencia espacial del daño en edificaciones de seis a veintiún niveles debe evaluarse junto con la variación del espesor y la rigidez de la cuenca y la posible compatibilidad entre los períodos del suelo y de las estructuras. Esta relación permanece como una hipótesis que debe contrastarse considerando la altura, la antigüedad, el sistema resistente, las irregularidades, las intervenciones y la condición previa de cada edificio.

En Catia La Mar, edificaciones de altura comparable presentaron desde daño estructural de grado variable hasta colapso parcial. La licuación en las franjas costeras, las deformaciones localizadas en los bordes de la terraza y los posibles efectos topográficos ofrecen mecanismos complementarios que requieren verificación específica. En Caraballeda, la heterogeneidad horizontal y vertical de los abanicos, el contraste entre sedimentos someros en la zona alta y depósitos profundos saturados en la zona distal, y la presencia de una superficie libre hacia la costa favorecieron patrones de deformación compatibles con licuación y relajación lateral. La respuesta diferenciada del antiguo Hotel Sheraton sugiere además que el sistema de fundación condicionó la transferencia de esas deformaciones: los edificios de hormigón apoyados sobre pilotes tuvieron un desempeño distinto al anexo de acero sin pilotes, aunque la configuración estructural y las intervenciones previas también fueron determinantes.

La principal implicación para la evaluación postsísmica es que la integridad resistente de la cimentación no equivale a estabilidad cinemática. Una cimentación sin daño material visible puede asentarse, rotar o trasladarse con el terreno e imponer deformaciones incompatibles con la superestructura. Por ello, las decisiones de ocupación, reparación o recalce deben correlacionar, dentro de un mismo sistema de referencia, la deformación del suelo, el movimiento de la cimentación y la inclinación, deriva, torsión y fisuración del edificio. Esta evaluación debe complementarse con la caracterización dinámica del terreno, la evaluación de información geofisica pertinente para estudiar efectos de interacción dinámica suelo-estructura, el levantamiento del sistema de fundación y un inventario estructural que incluya edad, intervenciones, irregularidades y deterioro previo, incluido el asociado con corrosión.

5. Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento al Grupo de Estructuras, Sísmica y Geotecnia del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile por promover y facilitar las campañas de reconocimiento en terreno, las cuales permitieron recabar las observaciones y evidencias presentadas en este trabajo. Dicho equipo está integrado por Diego Pizarro, Fabián Rojas, Rubén Boroschek, César Pastén, Felipe Ochoa, Pablo Heresi, Juan Felipe, Leonel Quintero, Juan Felipe Beltrán y Ricardo Herrera.

Asimismo, se agradece a la Comisión Presidencial dirigida por el Ministro de Transporte y Comunicación, profesor Francisco Garcés, así como a sus miembros: Profesor Oscar López, José Gregorio Rengel, Valentina Páez, Profesor Ronald Torres, Profesor Mauricio Hernández y a todos los participantes que brindaron apoyo durante las actividades. Finalmente, se reconoce el valioso respaldo del personal de Funvisis que formó parte del equipo delegado por la comisión presidencial.

Referencias

BRAY J. D. y S. DASHTI. 2014. Liquefaction-induced building movements. Bulletin of Earthquake Engineering, 12: 1129-1156. https://doi.org/10.1007/s10518-014-9619-8.

BUSTOS J., N. GIRMAY, M. BRAVO-HARO, R. ROJAS, D. MONTEMAYOR, P. HERESI, E. MIRANDA, F. PINTO, G. MONTALVA, N. BASTÍAS, J. OJEDA, F. PAZ, F. VILLENA y A. VILLEGAS. 2026. Ground motion intensity in Caraballeda during the Mw 7.5 June 24, 2026, Venezuela earthquake estimated from CCTV video. Manuscrito en revisión en The Seismic Record.

COLMENÁREZ G. et al. 2009. Daños en edificaciones en el terremoto de 1967. Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas. FUNVISIS, Caracas.

FUNVISIS. 2026a. Sismo de magnitud 7,2 se registró hoy en San Felipe. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

FUNVISIS. 2026b. Sismo de magnitud 7,5 se registró hoy en San Felipe. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

MAGLIONE DI GUIDA P. y J. GRASES. 2011. Evaluación de la respuesta sísmica de un edificio de 21 niveles durante el sismo de Caracas del 29-07-1967 y revisión de su estructura reforzada en el año 1968. Tekhné, 14: 19-39.

MESONES ROJO G. 2026. El día que Venezuela se rompió en mil pedazos. El País, 26 de junio de 2026.

PAPAGEORGIOU A. S. y J. KIM. 1991. Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas Valley with reference to the 29 July 1967 earthquake: SH waves. Bulletin of the Seismological Society of America, 81: 2214-2233.

PINTO F., N. GONZÁLEZ, G. A. MONTALVA, E. MIRANDA, N. GIRMAY, D. MONTEMAYOR et al. 2026. Geotechnical aspects of the June 24, 2026 Catia La Mar, Venezuela earthquake: Observations from the ground. Manuscrito en preparación.

PINTO F. J., C. LEDEZMA, J. A. ABELL, R. ASTROZA y S. DASHTI. 2022. Soil-basement interaction effects on the seismic response of tall buildings with basement levels. Engineering Structures, 263: 114406.

PINTO F. J., S. DASHTI, C. LEDEZMA y J. A. ABELL. 2023. How do tall buildings affect seismic earth pressures on their basement walls? Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 171: 107968.

PINTO F., R. ASTROZA, R. BAZÁEZ, F. HERNÁNDEZ y N. NAVARRO. 2024. Probabilistic seismic assessment of multispan RC highway bridges considering soil-structure interaction and chloride-induced corrosion. Engineering Structures, 300: 117257.

ROCABADO V., M. SCHMITZ, J. J. HERNÁNDEZ y C. MORALES. 2011. Relación entre el período del suelo y el espesor de sedimentos para la ciudad de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 26: 141-151.

ROMERO M., A. CRAGNO, M. SCHMITZ y R. AMBROSIO. 2006. Caracterización de suelos mediante métodos geofísicos en La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena. Boletín Técnico del IMME, 44: 16-29.

SCHMITZ M., J. J. HERNÁNDEZ, V. ROCABADO, J. DOMÍNGUEZ, C. MORALES, M. VALLÉE et al. 2020. The Caracas Venezuela seismic microzoning project: Methodology, results, and implementation for seismic risk reduction. Progress in Disaster Science, 5: 100060.

SEED H. B., I. M. IDRISS y H. DEZFULIAN. 1970. Relationships between soil conditions and building damage in the Caracas earthquake of July 29, 1967. Report EERC 70-2. University of California, Berkeley.

SINGER F. 2026. Cuerdas, linternas y vecinos rescatistas entre los escombros de Caracas: «¡Antonio está vivo!». El País, 25 de junio de 2026.

TOKIMATSU K., K. HINO, H. SUZUKI, K. OHNO, S. TAMURA y Y. SUZUKI. 2019. Liquefaction-induced settlement and tilting of buildings with shallow foundations based on field and laboratory observation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 124: 268-279. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.04.054.

WIECZOREK G. F. et al. 2002. Debris-flow and flooding deposits in coastal Venezuela associated with the storm of December 14-16 1999. U.S. Geological Survey Map I-2772.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/181
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 275 – 328

EL TERREMOTO DE LA GUAIRA DEL 24 DE JUNIO DE 2026

Oscar A. LÓPEZ, José G. RENGEL, Valentina PÁEZ, Romme ROJAS, Ángelo MARINILLI, Norberto FERNÁNDEZ, Ronald TORRES, Eduardo NÚÑEZ, Gustavo CORONEL D., Duilio MARCIAL, Luis HERNÁNDEZ, Trino BALOA, Anny VILLEGAS, Rafael GONZÁLEZ, Marianela LAFUENTE, Ahmad IDREES, Ramón MATA, William ASCANIO, Humberto RENGEL, Alejandro HERRERA

Comité Técnico Asesor del Terremoto de la
Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras

RESUMEN

El terremoto de La Guaira del 24 de junio de 2026 provocó gran destrucción en Venezuela, principalmente en el Estado La Guaira. El movimiento fue registrado en la capital y su severidad fue menor que la contemplada en la norma COVENIN 1756, pero no fue registrado en La Guaira donde ocurrieron pulsos de gran amplitud que excedieron lo contemplado en la Norma. Se desarrolló la plataforma digital HABITABLE para centralizar la recopilación de datos de las inspecciones. La inspección de 63.070 edificaciones en el país indica que un 18 % tuvieron daño severo y no pueden ser habitadas (Etiqueta Roja). Los daños se concentraron en el Estado La Guaira por estar sus poblaciones más cercanas a la falla, con 5.490 edificaciones con Etiquetas Rojas de un total de 17.264 edificaciones evaluadas. Mayores daños se observaron en zonas con mayores espesores de sedimentos y con efectos topográficos. Se observó menos daño en las construcciones en la base de las montañas. Se evaluaron 660 viviendas populares en el sector Playa Verde, calificando a un 30% con Etiqueta Roja o con colapso. Las edificaciones de pórticos de concreto reforzado resultaron ser muy flexibles, lo que condujo a numerosos colapsos y al derrumbe de paredes de mampostería de relleno que causaron muchas víctimas. Las edificaciones con muros de concreto reforzado presentaron, en general, un mejor desempeño. Se describen los colapsos observados en varias torres de los edificios OPPPE y en edificaciones de 4 niveles del sistema SUMMA. Se muestran los daños observados en edificaciones patrimoniales, centros de salud y en edificios educativos. Se presentan los cuatro manuales de lineamientos técnicos desarrollados para la estabilización mediante apuntalamiento, restitución de mampostería y reparación de elementos de concreto reforzado. Finalmente se resumen lineamientos en consideración para el desarrollo de una norma de emergencia para construcciones en el Estado La Guaira.

ABSTRACT

The La Guaira earthquake of June 24, 2026

The La Guaira earthquake of June 24, 2026, caused widespread destruction in Venezuela, primarily in La Guaira State. Ground shaking was recorded in the capital—where the severity was lower than the levels anticipated by the COVENIN 1756 standard—but was not recorded in La Guaira, where high-amplitude pulses occurred that exceeded what was stipulated in the Standard. The digital platform HABITABLE was developed to centralize the collection of inspection data. Inspections of 64,681 buildings revealed that 18.3% sustained severe damage and were uninhabitable (Red Tag). Damage was concentrated in La Guaira State, as its population centers were closest to the fault; 31.8% of the 17,704 buildings evaluated there received Red Tags. Greater damage was observed in areas with thicker sediment deposits and topographic amplification effects. Less damage was observed in structures located at the base of the mountains. A total of 660 low-income housing units in the Playa Verde sector were evaluated, with 30% classified as Red Tag or collapsed. Reinforced concrete frame buildings proved to be very flexible, leading to numerous collapses and the failure of masonry infill walls, which caused many casualties. Buildings with reinforced concrete shear walls generally exhibited better performance. The report describes collapses observed in several towers of the OPPPE housing complexes and in four-story buildings of the SUMMA system. Damage observed in heritage buildings, healthcare facilities, and educational buildings is also presented. Four technical guideline manuals developed for stabilization via shoring, masonry restoration, and reinforced concrete element repair are introduced. Finally, the report summarizes guidelines currently under consideration for the development of an emergency building standard for La Guaira State.

Palabras clave: Terremoto de La Guaira, inspección post-sísmica, daños estructurales y no estructurales, efectos de campo cercano, norma de emergencia.
Keywords: La Guaira earthquake, post-earthquake inspection, structural and non-structural damage, near-field effects, Emergency standard.

1. INTRODUCCIÓN

El Terremoto de La Guaira del 24 de junio de 2026 cambia la historia sísmica del país entre un antes y un después del evento. Hacía más de un siglo, desde hace 126 años, que el país no registraba un terremoto de ese tamaño, de magnitud mayor a siete, siendo el último el ocurrido en 1900 con magnitud de 7,7 y epicentro frente a las costas del Estado La Guaira, pero lo suficientemente lejos para no causar una catástrofe como la de este evento. La ausencia de grandes terremotos se ha traducido con el tiempo en una limitada cultura sismorresistente, a todos los niveles, tanto de la población como de las autoridades locales, regionales y nacionales, que se manifiesta, por ejemplo, en no reforzar edificaciones antiguas, principalmente escuelas y hospitales, aun cuando el medio académico ha estado clamando durante años por esa acción de protección contra terremotos. Este evento debe impulsar mejoras sustantivas en nuestra cultura sismorresistente.

El objetivo de este artículo es presentar resultados preliminares de los trabajos de campo e investigaciones efectuadas en estos tres primeros meses después de ocurrido el evento, desarrollados por profesores, ingenieros y estudiantes de postgrado que forman parte del Comité Técnico Asesor del Terremoto, bajo el impulso de la Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras que preside el Profesor Francisco Garcés.

2. EL TERREMOTO DEL 24 DE JUNIO DE 2026

El terremoto del 24 de junio de 2026 tuvo dos sub-eventos separados en un tiempo de 30 segundos, el primero con Magnitud M_W de 7,2 localizado entre Morón y San Felipe y el segundo con magnitud 7,5 frente a la costa de La Guaira (Figura 2.1). Pero en todo caso, según el USGS (2026), fue una ruptura continua viajando del oeste hacia el este, generando un plano de ruptura de una longitud total aproximada de 260 km y un ancho de aproximadamente 35 km, con una inclinación del plano con respecto al plano horizontal (buzamiento) de 78°. El plano de ruptura se divide en dos segmentos, el primero corresponde al sub-evento en la Falla de Boconó hacia el oeste y el segundo segmento al sub-evento en la Falla de San Sebastián en el centro y en el este (Figura 2.1), que constituyen la frontera entre las placas del Caribe y de Suramérica. La ruptura tomó cerca de 70 segundos en recorrer el plano de falla de oeste a este. Fue una ruptura transcurrente (deslizamiento de rumbo), el foco de cada sub-evento estaba a unos 10 km de profundidad. El desplazamiento tectónico es variable a lo largo de la falla con un máximo de 1,8 metros (USGS, 2026). Las poblaciones del Estado La Guaira están localizadas al lado y arriba del plano de ruptura que se muestra en la Figura 2.1, en lo que se denomina el campo cercano, por lo que fueron sujetas a los mayores movimientos vibratorios del terreno.

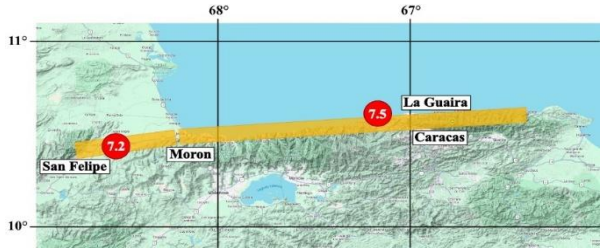


Figura 2.1 *Dimensiones (proyección horizontal) del plano de ruptura con sus dos segmentos, y ubicación de los epicentros de los dos sub-eventos de magnitud 7,2 y 7,5. Adaptado del USGS (2026).*

3. MOVIMIENTO SÍSMICO

3.1. Movimiento del terreno, acelerogramas

Se obtuvieron registros de aceleraciones en Caracas. En la Tabla 3.1 se describen las cuatro estaciones de FUNVISIS que registraron el ter---remoto en el área metropolitana de Caracas, dos de ellas estaban sobre roca y las otras dos sobre depósitos de sedimentos (Ascanio y otros, 2026). Los parámetros de sitio provienen de Schmitz (2009) y Flores (2006). La condición topográfica es la definida en la Norma COVENN 1756-1:2019. La distancia de las estaciones a la ruptura tectónica (Falla de San Sebastián) se muestran en la Tabla 3.1 y varían entre 11 y 17 km. La Figura 3.1 muestra los acelerogramas registrados en las cuatro estaciones, en las direcciones Vertical (V), Norte-Sur (N-S) y Este-Oeste (E-O). En la parte inferior de la figura se destaca la condición local y la distancia a la falla de San Sebastián. En la Figura 3.2 se muestra la ubicación de las estaciones sobre el mapa de microzonificación de Caracas. El procesamiento digital de los registros incluyó corrección de línea base mediante ajuste lineal/polinómico y filtrado digital pasabanda con frecuencias de corte inferior de 0,1 Hz y superior de 45 Hz. Los equipos están configurados para una frecuencia de 200 muestras por segundo. En la Tabla 3.2 se muestran los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento para cada estación y en cada dirección. De las Tablas 3.1 y 3.2 y de la Figura 3.1 se puede destacar lo siguiente:

1) La mayor aceleración horizontal es de 0,24 g obtenida en roca en la Estación Caracas. En las dos estaciones sobre sedimentos (Escuela de Enfermería e Inparques) se tiene una aceleración algo menor, pero debe destacarse que ésta es la aceleración asociada a un período cercano a cero (edificios bajos) y que la aceleración de períodos mayores (edificios altos) muestra la amplificación en los sedimentos (Figura 3.4). Por ejemplo, la aceleración espectral de período 1 s se amplifica desde un valor de 0,20 g en roca en la Estación Caracas (Figura 3.3, componente N-S) hasta 0,24 g en los sedimentos de la Escuela de Enfermería (Figura 3.4, componente N-S), a pesar de estar ésta más alejadas de la fuente sismogénica (Tabla 3.1). En El Llanito que está sobre roca, esta aceleración de 1 s es de solo 0,06 g.

Tabla 3.1. *Estaciones que registraron el sismo del 24/06/2026 en el área metropolitana de Caracas.*

Estación	Suelo y Profundidad	Vs30	Condición topográfica	Distancia a la Falla (km)
Caracas	Roca	≈ 800 m/s	Moderada	11,39
Escuela de Enfermería UCV	Sedimentos H > 220 m	≈ 400 m/s	Leve	13,33
Inparques	Sedimentos 120 < H < 220 m	≈ 311 m/s	Leve	14,89
El Llanito	Roca	≈ 800 m/s	Leve	17,33

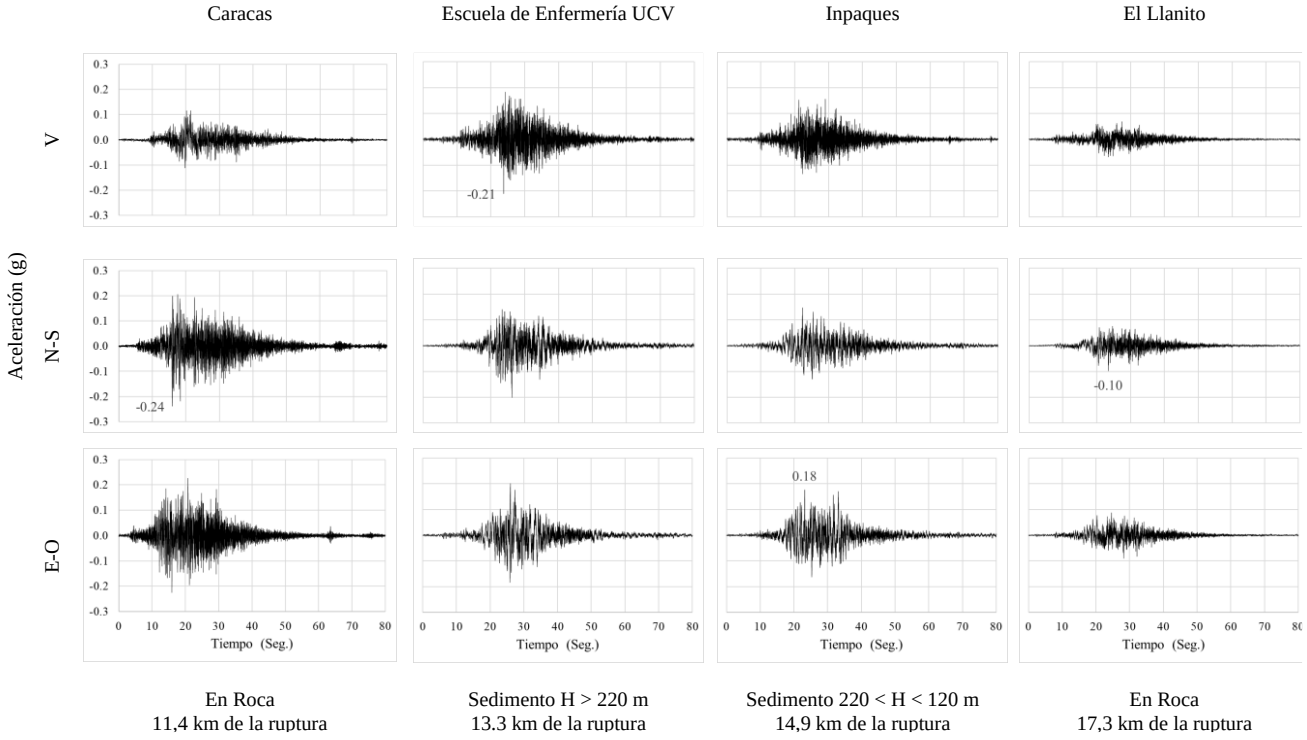


Figura 3.1. *Acelerogramas registrados por las estaciones ubicadas en Caracas.*

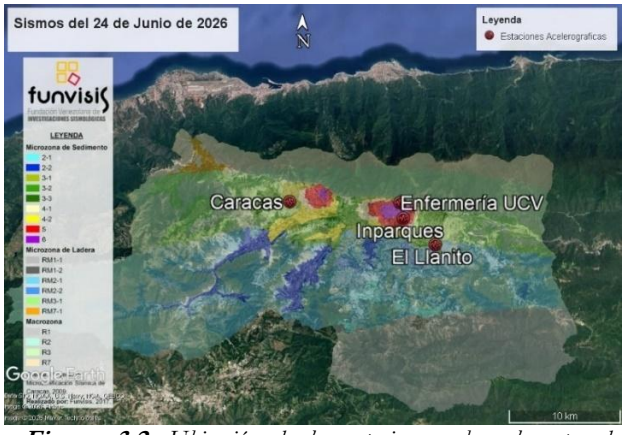


Figura 3.2. *Ubicación de las estaciones sobre el mapa de microzonificación de Caracas.*

Tabla 3.2. *Valores máximos de aceleración (a), velocidad (v) y desplazamiento (d) en cada Estación.*

Estación	Dirección	a (g)	v (cm/s)	d (cm)
Caracas	V	0,12	31	30
	N-S	0,24	18	17
	E-O	0,23	18	13
Escuela de Enfermería UCV	V	0,21	24	14
	N-S	0,20	20	14
	E-O	0,20	29	23
Inparques	V	0,16	17	15
	N-S	0,15	17	15
	E-O	0,18	24	20
El Llanito	V	0,069	15	16
	N-S	0,098	16	15
	E-O	0,090	20	16

2) El efecto de la distancia a la ruptura (Falla de San Sebastián) se aprecia al comparar las dos estaciones en roca; en El Llanito a 17,3 km de distancia, la media de las dos aceleraciones horizontales máximas es 0,094 g mientras que en Caracas a 11,4 km la media es 0,235 g. Es decir, un aumento de 1,5 veces en la distancia ocasiona una reducción de 2,5 veces en la aceleración en roca. Sin embargo, debe tenerse presente que también hay otra diferencia, Caracas está sobre una condición topográfica moderada que pudiera aumentar la aceleración, mientras que El Llanito está en una condición topográfica leve.

3) Las direcciones N-S y E-O experimentaron en término medio aceleraciones máximas similares; promediando las 4 estaciones se tiene prácticamente 0,17 g para ambas direcciones. Esto contrasta con el sismo de 1967 en donde se acepta que la aceleración N-S fue considerablemente mayor que la E-O (Guerrero y López, 2021).

4) Nótese que la dirección N-S se puede asimilar a la dirección normal a la falla y E-O a la paralela a la falla de San Sebastián. En el Estado La Guaira se acepta que el movimiento normal a la falla fue considerablemente mayor que el paralelo a la falla por estar muy cerca de la misma (Bustos y otros, 2026).

5) La aceleración vertical fue significativa; el promedio para las 4 estaciones es 0,14 g el cual es un 81% de la aceleración horizontal promedio. Más aun, en la Escuela de Enfermería, la aceleración vertical fue ligeramente mayor a la horizontal (Figura 3.1).

3.2. Espectros de respuesta y comparación con la Norma

Los espectros de respuesta elástica de las componentes horizontales de los registros de la Estación Caracas (roca) para un amortiguamiento del 5% se comparan en la Figura 3.3 con lo especificado en la Norma Venezolana COVENIN 1756-1:2019, para un período de retorno de 475 años. A esa estación le corresponde una condición de sitio BC (roca blanda) con una V_{S30} = 800 m/s y una condición topográfica moderada. Se aprecia que el evento sísmico generó una demanda comparable a lo especificado en la Norma para períodos entre 0,3 s y 1 s en la componente N-S, pero algo más pequeña para períodos más cortos con ciertas excepciones. La demanda en dirección E-O se mantiene en general por debajo de lo especificado en la norma.

Una situación algo diferente se aprecia al comparar con la Norma los espectros de respuesta elástica de los registros de la Estación Escuela de Enfermería UCV que está sobre sedimentos profundos (Tabla 3.1) y condición topográfica leve. En la Figura 3.4 se aprecia que la demanda está por debajo de lo especificado por la Norma para períodos menores a 1,2 segundos.

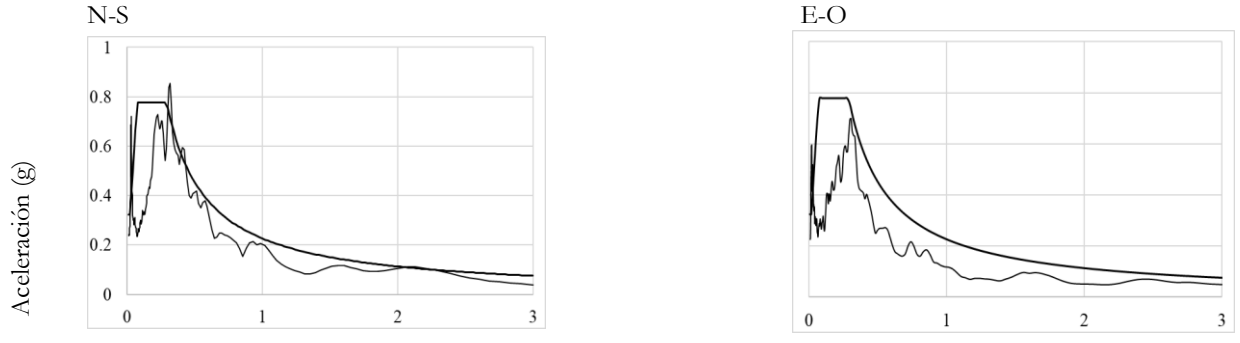


Figura 3.3. *Comparación de espectros de respuesta de la Estación Caracas y de la Norma COVENIN 1756-1:2019, de las componentes horizontales del sismo del 24/06/2026.*

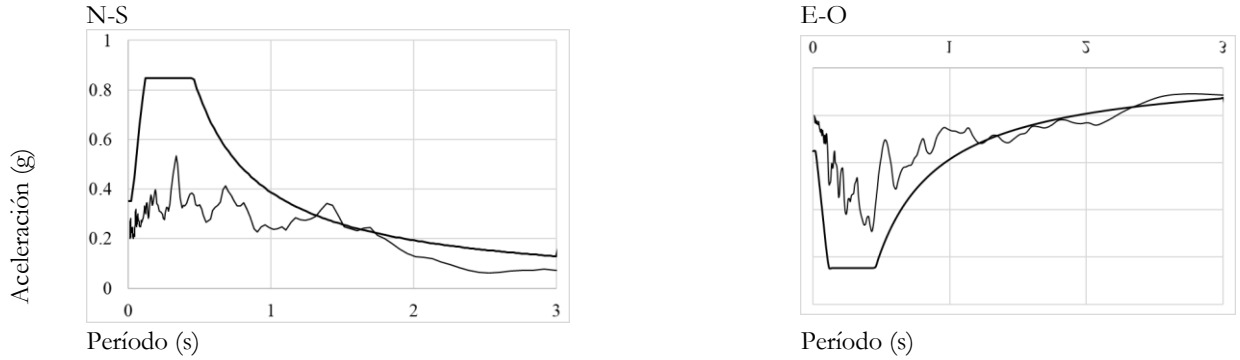


Figura 3.4. *Comparación de espectros de respuesta de la Estación Escuela de Enfermería UCV y de la Norma COVENIN 1756-1:2019, de las componentes horizontales del sismo del 24/06/2026.*

3.3. Consideraciones sobre el movimiento sísmico en las poblaciones de Estado La Guaira

No se obtuvieron registros de aceleraciones en el Estado La Guaira, donde la mayoría de las poblaciones afectadas estaban en el denominado campo cercano, al lado de la falla. Sin embargo, en un evento similar ocurrido en Turquía el año 2023 (M_w=7,7) se obtuvieron registros al lado de la falla, los cuales han destacado la presencia de pulsos de velocidad de gran amplitud, especialmente en la dirección normal a la falla (McCallen y otros, 2026), cuando se comparan con registros obtenidos lejos de la falla.

Para efectos de comparación con el registro obtenido en Caracas, se obtuvo el registro procesado del sismo de Turquía 2023, Estación TK3139, de la base de datos de la ESM (2026), obtenido al lado de la falla, la cual proporcionó las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento en las componentes norte-sur (N-S) y este-oeste (E-O). Estas componentes fueron rotadas 25° a fin de obtener el movimiento en la dirección Normal y Paralela a la falla, que corresponde al Segmento 3 de la falla (Hisada, 2024). Para el caso de Caracas, se dispuso del registro de aceleración de la Estación Caracas, componente N-S, Figura 3.1, el cual se integró para obtener las historias de velocidad y desplazamiento. Tomando en consideración que el plano de la falla de San Sebastián está orientado aproximadamente en dirección Este-Oeste, se acepta que la componente N-S es también la componente Normal a la falla.

La Figura 3.5 compara el movimiento Normal a la falla registrado en Turquía 2023 con el registrado en Caracas 2026. Se aprecia la gran diferencia entre ellos, especialmente en las velocidades y desplazamientos. El de Turquía muestra una aceleración que es 2,7 veces mayor, pero dicho aumento en la aceleración es opacado por el gran aumento de velocidad de 7,8 veces. Desde otro ángulo, si tuvieran la misma aceleración máxima de 0,64 g, la velocidad en Turquía 2023 sería todavía 3 veces mayor que Caracas 2026.

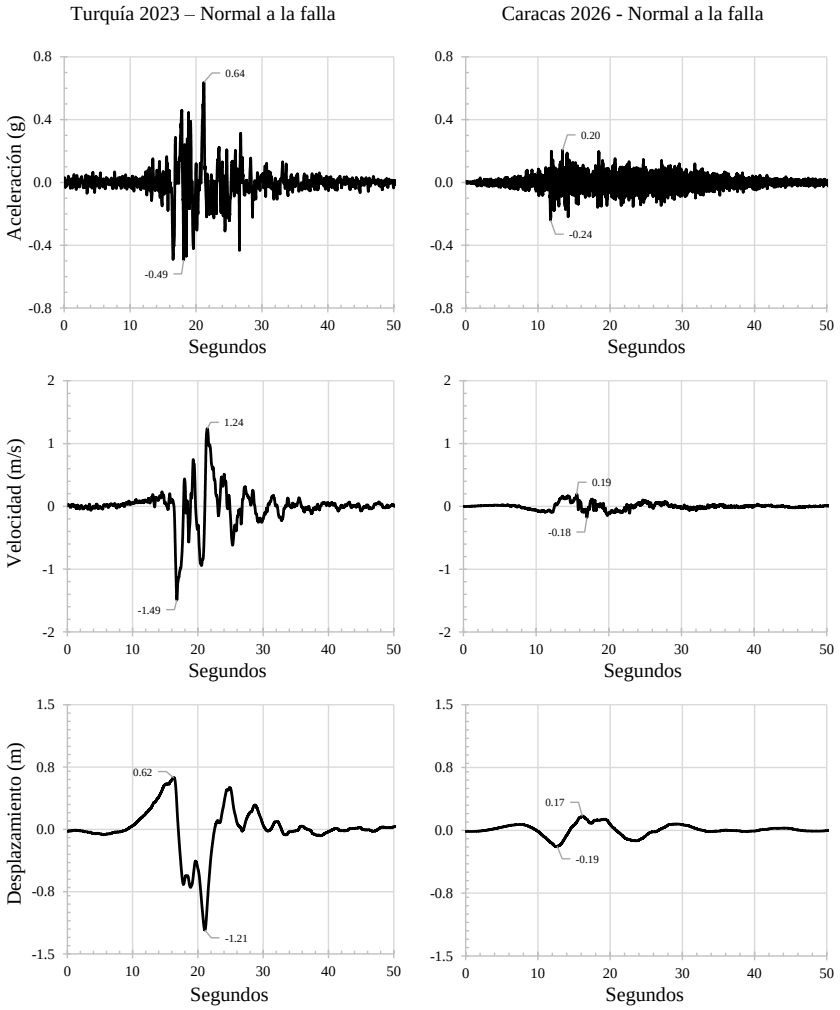


Figura 3.5. *Aceleración, velocidad y desplazamiento de Turquía 2023 y Caracas 2026.*

Aun cuando no se obtuvieron registros en La Guaira, la observación de videos obtenidos en Caraballeda durante el evento indica la presencia de pulsos de gran intensidad que provocaron el derrumbe simultáneo de 8 edificios y la caída de personas en la calle. Dos estudio del caso, recién publicados (Bustos y otros, 2026; Ruiz y otros, 2026), identifican las características del movimiento vibratorio a partir del análisis detallado del movimiento de objetos en el video, concluyendo que su intensidad es comparable con algunos de los movimientos más intensos jamás registrados, con una velocidad del pulso de 197 cm/s (Bustos y otros, 2026). El movimiento fue más intenso en dirección N-S, normal a la falla. Como comparación, el famoso registro de El Centro 1940 tiene una velocidad máxima de 32 cm/s, seis veces menor. Y el valor calculado de 197 cm/s es inclusive mayor que el valor de 149 cm/s registrado en el terremoto de Turquía (Figura 3.5).

3.4. Efectos del Pulso en la Respuesta de Edificios

El efecto desfavorable en la respuesta estructural que introducen estos pulsos de elevada velocidad, se ilustra con un ejemplo calculando la demanda de ductilidad que exige el registro de Turquía 2023 y el registro de Caracas 2026 para dos estructuras, una de período corto de 0,3 s representativa de un edificio de pocos pisos y otra con un período de 1 s representativa de un edificio alto. Cada sistema se modela elástico-perfectamente plástico con un amortiguamiento del 5%. La resistencia del edificio rígido (0,3 s) es de 0,36 veces el peso y la del edificio flexible (1 s) es de 0,20 veces el peso, calculadas suponiendo que están en la zona de Caraballeda, con el espectro dado por la norma COVENIN 1756-1:2019, un factor de reducción R= 6 y una sobrerresistencia de 2.

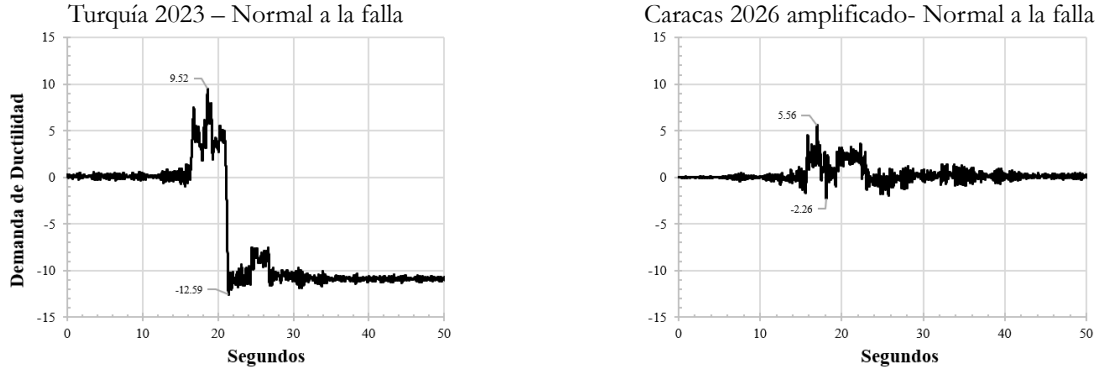


Figura 3.6. *Demanda de ductilidad de un edificio bajo de período 0,3 segundos ante el sismo cercano (Turquía 2023) y el sismo lejano (Caracas 2026 amplificado) escalado a la misma aceleración del de Turquía 2023.*

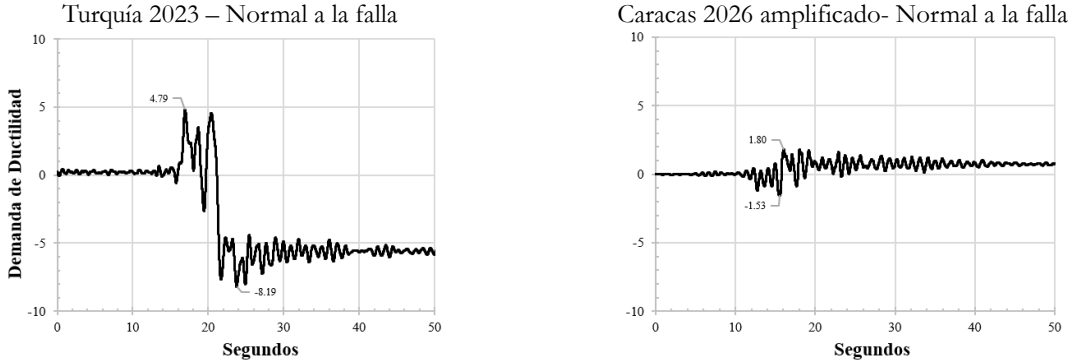


Figura 3.7. *Demanda de ductilidad de un edificio alto de período de 1 segundo ante el sismo cercano (Turquía 2023) y el sismo lejano (Caracas 2026 amplificado) escalado a la misma aceleración del de Turquía 2023.*

Para destacar el efecto del pulso de velocidad del campo cercano, el registro de Caracas se amplifica multiplicándolo por 2,67 de manera de igualar su aceleración máxima original de 0,24 g a la del registro de Turquía de 0,64 g (Figura 3.5). Ambos tienen la misma aceleración, pero la velocidad del de Turquía es 3 veces mayor que el de Caracas amplificado. La Figura 3.6 muestra la historia de la demanda de ductilidad para el edificio de pocos pisos (período de 0,3 s); aun cuando ambos sismos tienen la misma aceleración máxima, el registro de Turquía introduce una demanda de ductilidad que es 2,3 veces la que introduce el registro de Caracas. Similarmente, para el edificio alto (período de 1 s) (Figura 3.7), el registro de Turquía origina una demanda de ductilidad de 8,19 que es 4,6 veces mayor que la que origina el de Caracas de 1,80, teniendo ambos registros la misma aceleración. El aumento en la demanda con el sismo de Turquía se debe al efecto del pulso de velocidad, el cual es 3 veces mayor que el de Caracas amplificado.

Extrapolando estos resultados para el Estado La Guaira, donde las poblaciones estaban en campo cercano a muy poca distancia de la falla, y donde la velocidad fue calculada como 197 cm/s (Bustos y otros, 2026), aun mayor que la de Turquía de 149 cm/s, se concluye que las demandas de deformación y ductilidad han debido ser muy intensas lo que permite explicar la magnitud de los daños ocurridos.

4. COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS, OBSERVACIONES Y PERSPECTIVAS

Los suelos del estado La Guaira, así como los de la Ciudad de Caracas son muy variados y, por lo tanto, muy variada es su respuesta ante eventos sísmicos. En la Figura 4.1 se muestra una imagen satelital donde se aprecia en la parte superior (norte) el estado La Guaira y en la parte inferior (sur) la ciudad de Caracas, separadas por la Cordillera de la Costa, la cual comparten ambas entidades. Desde la Formación Ávila ocurren deslaves periódicos que alimentan los conos de deyección del estado la Guaira donde el más importante es Caraballeda, con importantes espesores de suelo roca (cantos rodados de gran tamaño embebidos en una matriz de suelos), aunque desde Maiquetía y pasando por Macuto existen estos depósitos. De igual manera, los deslaves hacia el sur formaron los depósitos de suelo roca que se encuentran presentes en el norte del valle de Caracas, destacando los del municipio Chacao y la parroquia San Bernardino. Estos depósitos sedimentarios tienen espesores variables en la zona de la costa. Romero et al. (2002), realizaron en el año 2.000 mediciones sísmicas de refracción que permitieron determinar un espesor de sedimentos de más de 400 m en Caraballeda, mientras que en Macuto el espesor alcanza unos 150 m. En Caracas, en Chacao y San Bernardino, el mapa de microzonificación sísmica (Schmitz y otros, 2009) muestra que los espesores son mayores de 200 m.

Aparte de los deslaves de la Formación Ávila, destacan en Catia La Mar importantes espesores de sedimentos variados, que se han depositado en el eje de la Quebrada Tacagua y su desembocadura en la localidad de Puerto Viejo. En Caracas, las llanuras de inundación de los ríos Valle y Guaire se extienden a lo largo del eje este – oeste, tal como se describe en el Mapa Geológico del Cuaternario y de las Fallas Cuaternarias del Valle de Caracas (Singer y otros, 2007).



Figura 4.1. *Imagen satelital del estado la Guaira y la ciudad de Caracas (Google Earth, 2026)*

En lo que respecta al comportamiento de los suelos de La Guaira y Caracas durante el Terremoto del estado La Guaira del 24 de junio de 2026, es bien conocida la incidencia del efecto de sitio en la respuesta de los suelos durante la ocurrencia de eventos sísmicos. La modificación de la señal entrada, con amplificación del movimiento en sitios con espesores de suelos considerables, tiene en el sismo de Caracas de 1967 (Mw = 6,6) un caso de estudio de impacto internacional, tal como resaltan las publicaciones de Seed y otros (1972) y Papageorgiou & Kim (1991). Estos trabajos se enfocaron en el efecto de amplificación respectivamente en Caraballeda y Los Palos Grandes. En el sismo de la Guaira del 24 de junio de 2026 (Mw = 7,5) estos efectos tuvieron consecuencias catastróficas en los mismos sitios y numerosas localidades que abarcan una gran extensión geográfica y otros efectos más allá del espesor de los sedimentos y los efectos de cuenca.

El efecto de la topografía sin duda tuvo un gran impacto en las mesetas de Playa Grande y Mamo, en las instalaciones del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar (AISB), en la urbanización Las Colinas de Catia La Mar, entre otras zonas donde los daños fueron devastadores. En la Figura 4.2 se presenta un mapa de relieve de las zonas indicadas, resaltándose entre paréntesis algunas cotas representativas.

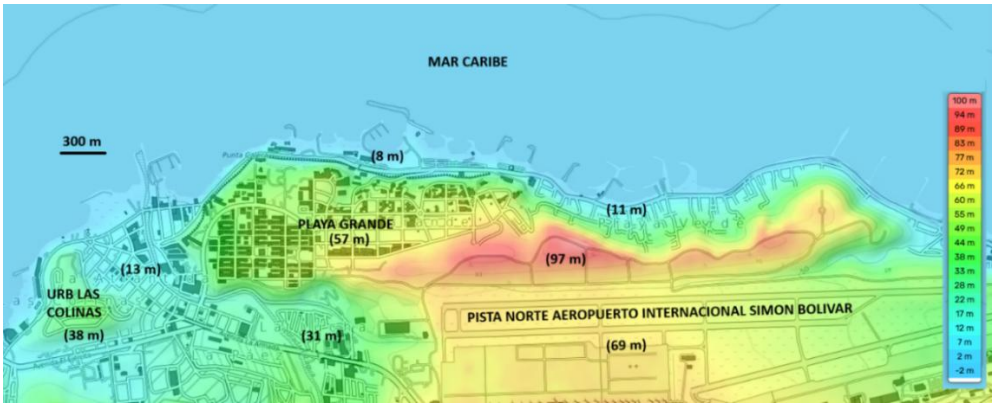


Figura 4.2. *Relieve de la meseta de Playa Grande – Aeropuerto Internacional Simón Bolívar.*

En la meseta de Playa Grande, por ejemplo, se tiene un desnivel topográfico superior a 50 metros con una fuerte pendiente en la dirección norte – sur y en la dirección este – oeste también. La pista norte del AISB, que fue notablemente afectada, tiene una cota promedio de 69 msnm y justo hacia el norte tiene una franja de terreno más elevada, de cota aproximada 97 msnm. Si bien estos daños se encuentran próximos y alineados con la traza de la falla de Las Bruscas, no se debe descartar un fenómeno de acoplamiento sísmico, donde la respuesta de la infraestructura haya sido intensificada por efectos de amplificación topográfica. La experiencia en el centro de Italia durante el sismo de Umbria-Marche, 1997 (Mw = 5,9) es un ejemplo tangible de los daños por amplificación debido a efectos topográficos. Los trabajos de Sanò & Pugliese (1999), Marsan y otros (2000), entre otros, muestran cómo abordar los estudios post sismo mediante modelización 2D para una mejor compresión de este fenómeno y para la obtención de espectros de respuesta adecuados para el diseño sismorresistente.

Durante las visitas realizadas al estado La Guaira, se observaron numerosas manifestaciones geotécnicas consistentes con el fenómeno de licuación en estratos confinados, la cuales resultan en el hundimiento del terreno debido a la densificación del suelo, así como sistemas de agrietamientos importantes que reflejan el desplazamiento lateral excesivo debido a la condición de borde no confinado de los sedimentos a lo largo de la costa. Es de hacer notar que la ausencia de eyecciones de arena o volcanes de lodo en superficie no descarta la ocurrencia del fenómeno, ya que la manifestación externa de la licuación depende estrictamente del espesor y la permeabilidad de la capa sello superficial (Ishihara, 1985). En este escenario, las fotografías de la Figura 4.3 muestran deformaciones plásticas y agrietamientos en la avenida La Playa (sector Camurí Chico) que constituyen por sí mismos indicios físicos de la pérdida de soporte en el subsuelo. Los terrenos al norte de la avenida reflejan movimientos permanentes significativos y una marcada segregación de partículas gruesas hacia la superficie.



Figura 4.3. *Fotografías tomadas en la avenida La Playa, sector Camurí Chico, estado La Guaira.*

Este orden de ideas plantea la hipótesis de un proceso de convección granular (efecto nuez de Brasil), el cual es conducido por fuerzas inerciales de cizallamiento (Rodríguez & Nahmad, 2006). Se sugiere investigar a futuro si el acoplamiento entre la convección granular y la licuación de la matriz conlleva a un comportamiento complejo de interacción suelo-estructura que somete a las edificaciones a grandes fuerzas de empuje e inercias diferenciales, debido a la enorme heterogeneidad de los bloques gigantes atrapados en el suelo blando. Por otra parte, la posibilidad del choque de los bloques de roca entre sí e incluso contra el sistema de fundación de las estructuras se propone como una línea de investigación y un escenario potencialmente destructivo que conlleva a la necesidad de profundizar en el estudio del arreglo de estos depósitos y su comportamiento.

En síntesis, los colapsos y daños estructurales ocurridos en numerosas edificaciones en Caracas y La Guaira tienen una estrecha relación con la disposición y tipología de los depósitos sedimentarios, así como las formas de relieve. Para poder pasar a un proceso de "reconstrucción" ordenada del estado La Guaira, es esencial llevar adelante un proyecto de microzonificación sísmica, en un sentido amplio y abordar los daños observados desde una perspectiva científica dada la complejidad de los sitios devastados. En cuanto a la ciudad de Caracas, es necesario actualizar el mapa de microzonificación sísmica, tomando como línea base los mapas de espesor de sedimentos y zonificación existentes desarrollados en el proyecto marco de la ciudad (Schmitz y otros, 2009), tal como se ha hecho en muchas ciudades como Ciudad de México y Bogotá, entre otras. En la interpretación de los ensayos geofísicos, que constituyen la herramienta generalizada de los estudios de microzonificación sísmica, debe tomarse en cuenta la presencia de los bloques de roca en el análisis de los parámetros y sus correspondientes ajustes, ya que son elementos masivos que aumentan el valor de las velocidades de las ondas, pero no mejoran realmente el comportamiento del depósito sedimentario que es gobernado por la matriz de suelo circundante. Por otra parte, aunque los sondeos geotécnicos resultan muy costosos en depósitos de suelo – roca, los mismos son de valor incalculable para el desarrollo de los estudios de microzonificación, por lo que se debe asumir el costo de los mismos como una inversión. Para la observación y cuantificación de los desórdenes geotécnicos en una zona tan vasta como la afectada por el Terremoto del estado La Guaira, se requiere disponer de imágenes satelitales de alta resolución antes y después del evento sísmico.

5. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

Desde el año 2020 se comenzó a discutir sobre la necesidad de un protocolo de actuación posterior a un terremoto, reuniones entre profesores del IMME, funcionarios de FUNVISIS y otros profesionales condujeron a la publicación de una Metodología de Evaluación Rápida de Edificaciones donde se planteó por primera vez en el país un protocolo de actuación con tres fases (López y otros, 2023). Luego del terremoto de la Guaira, el protocolo ha sido ampliado (Figura 5.1).

La Fase 1 de Evaluación Rápida ya estaba bien definida en López y otros (2023), siendo su objetivo evaluar la habitabilidad de la edificación luego del evento y la colocación de la etiqueta: Verde (Acceso Permitido), Amarilla (Acceso Restringido) y Roja (Acceso No Permitido). La metodología nacional adapta algunos criterios internacionales a las realidades del país, siendo la principal referencia el protocolo de evaluación rápida de Japón (Kaminosono et al., 2002), que permiten hacer una evaluación de daño a través de mediciones simples y una toma de decisión más objetiva. La evaluación rápida consta de 4 inspecciones del riesgo asociado al daño post-sismo: 1) inspección externa, 2) inspección de elementos estructurales con daño severo/completo, 3) inspección de elementos estructurales con daño moderado, y 4) inspección de otros elementos estructurales y componentes no estructurales como escaleras, paredes, tanques, entre otros. En cada evaluación se debe concluir en un grado de riesgo, entre: A) Bajo, B) Medio y C) Alto. El criterio final indica que si en alguna de las evaluaciones se obtiene un riesgo C) Alto se coloca la etiqueta Roja, si en alguna se obtiene riesgo B) Medio se debe colocar la etiqueta Amarilla y si no es ninguno de los dos la etiqueta es Verde. En Coronel y otros (2024) se implementa esta metodología en una primera aplicación móvil que a pocos días del terremoto serviría de referencia para el desarrollo de la aplicación móvil oficial HABITABLE.

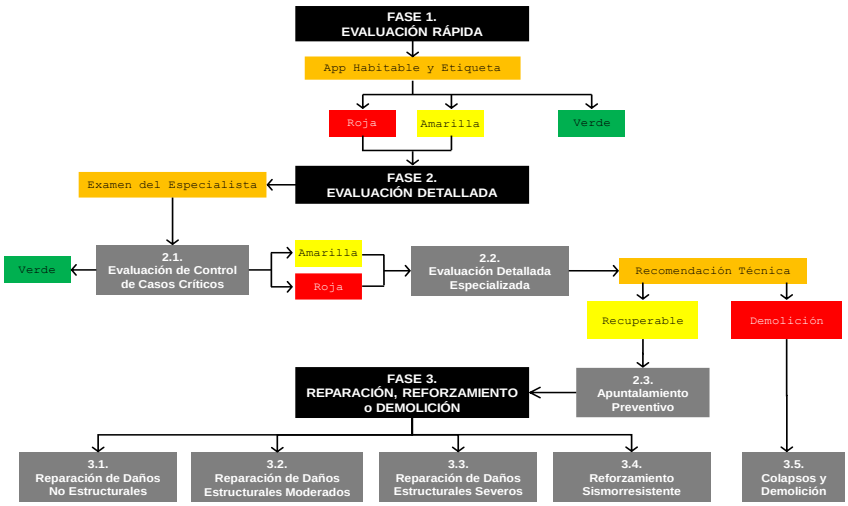


Figura 5.1. *Diagrama de Flujo General de las Fases del Protocolo de Evaluación y Rehabilitación luego del Terremoto. Comité Técnico Asesor del Terremoto (2026-a) basado en López y otros (2023).*

La Fase 2 (Figura 5.1) es una evaluación de control de casos críticos o auditoria con los siguientes objetivos: 1) Revisar la decisión de la Fase I, para confirmar la etiqueta colocada o para modificarla en caso de que se encuentren nuevas evidencias de daño o se hayan subsanado los daños, 2) Recomendar entre la reparación, reforzamiento o demolición de la edificación, incluyendo acciones de apuntamiento preventivo o de emergencia y 3) Documentar detalles de los daños en las edificaciones en casos especiales para futuras investigaciones.

La Fase 3 (Figura 5.1) consiste en desarrollar los proyectos de reparación, reforzamiento o demolición, según sea el caso, apoyándose en los lineamientos técnicos desarrollados, priorizando las reparaciones que permitan una rápida reocupación de las edificaciones afectadas. Comenzando con las edificaciones con daños no estructurales, luego con daño estructural leve o moderado, seguidas de las que tengan daño severo y finalmente aquellas que ineludiblemente requieran un reforzamiento sismorresistente. El protocolo también plantea orientar acciones para las edificaciones que colapsaron o que sea acordada la demolición.

6. INSPECCIONES RÁPIDAS: FORMACIÓN, ORGANIZACIÓN Y LOGÍSTICA

6.1. Formación, Organización y Logística

Durante los primeros días después del terremoto distintos grupos provenientes del gobierno en sus distintas escalas, de la sociedad civil, los gremios, el sector empresarial y las universidades, manifestaron su intención de apoyar en las actividades de atención de la emergencia, especialmente en las inspecciones post-sísmicas. Numerosos profesionales y estudiantes se dirigieron a la recién creada Comisión Presidencial para Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras, buscando capacitación y asignación de zonas para inspeccionar.

Dirigir y agrupar a estos grupos primarios implicó un gran esfuerzo de formación, organización y logística. Además, con el reto de decidir y concertar un criterio y una metodología de inspección unificada, ya que las primeras inspecciones realizadas por cientos de ingenieros voluntarios o de instituciones usaron criterios diferentes (Metodología ATC-20, criterios de gobiernos y asociaciones locales, informes de empresas o particulares). Afortunadamente, se contaba con la metodología de inspección rápida desarrollada recientemente por el IMME y FUNVISIS (López y otros, 2023) la cual fue recomendada y se logró adaptar todos los grupos de inspectores a seguir este método.

La primera actividad que se realizó fue la capacitación de miles de inspectores en el uso de la metodología de inspección rápida, convocando a universidades, entes del gobierno nacional y gobiernos locales En las figuras 6.1 a 6.10 se muestra el dictado de estos talleres en diferentes universidades e instituciones de la región. Inicialmente esta capacitación se orientó hacia el uso de la planilla física de inspección y luego al uso de la plataforma digital Habitable. Para el uso de la plataforma los inspectores tenían que haber pasado por la capacitación inicial y estar asociado a algún centro operativo (Comisión presidencial, ente de gobierno, universidad, gremio).



Figura 6.1*. Taller de capacitación en el auditorio de la Facultad de Ingeniería, UCV, 26/06/2026. Instructores F. Garcés y G. Coronel D.*



Figura 6.2. *Primer grupo de inspectores de la CPEHI desplegados en la parroquia la Candelaria de Caracas, 27/06/2026.*



Figura 6.3. *Taller de capacitación a ingenieros del MinCyT. UCV,28/06/2026. Instructora V. Páez.*



Figura 6.4*. Primer grupo de inspectores capacitados del MinCyT, 28/06/2026.*



Figura 6.5. *Taller de capacitación en la UNIMET, 29/06/2026. Instructor J. Rengel.*



Figura 6.6. *Taller de capacitación en la UCV, 26/06/2026. Instructores R. Torres y J. Rengel.*



Figura 6.7. *Brigada de profesores y estudiantes UNIMET desplegados en La Guaira, 30/06/2026*



Figura 6.8. *Asignación de zonas de inspección a voluntarios, 26/06/2026. Organización: V. Páez.*

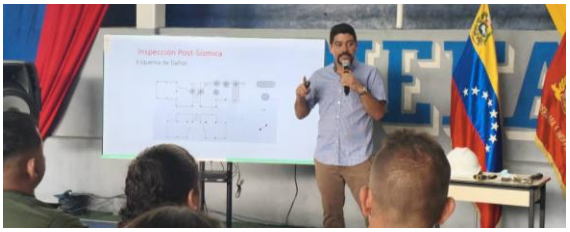


Figura 6.9. *Taller de capacitación en la UNEFA, 02/07/2026. Instructor R. Rojas.*

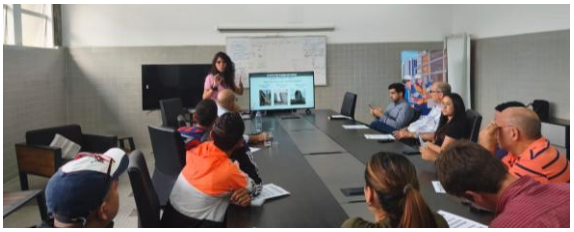


Figura 6.10. *Taller de capacitación en la UCV a empresas. 04/07/2026. Instructora V. Páez.*

El proceso de inspecciones se fue organizando de manera más eficiente a partir de la segunda/tercera semana después del terremoto, con centros operativos CO, jefes de zonas JZ y brigadas permanentes BP (Figura 6.11). Los centros operativos reportaron a sus inspectores para recibir capacitación y acceso a la plataforma HABITABLE. Los jefes de zona coordinaban entre cuatro y cinco brigadas. A su vez, las brigadas se conformaron con entre dos y cinco personas (profesionales y estudiantes) y debían contar obligatoriamente con al menos un ingeniero civil con experiencia para el dictamen final y etiquetado.

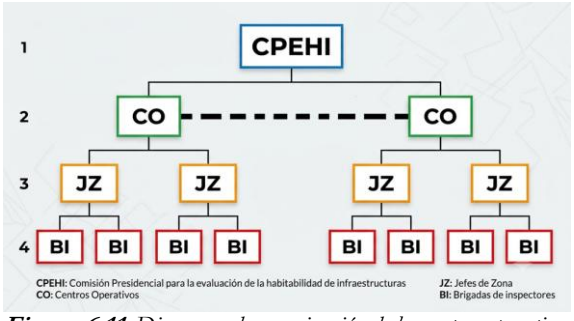


Figura 6.11*. Diagrama de organización de los centros operativos y las brigadas.*

Diariamente se genera un reporte de las inspecciones realizadas por cada ente y al final de cada semana se hace un balance global.

Se definieron zonas de inspección en conjunto con las autoridades locales, las cuales se asignaban a los entes o jefes de zonas. En Caracas se usaron los segmentos censales o agrupaciones de cuadras. En el caso de La Guaira se planificó con el consejo científico de la vicepresidencia sectorial de obras públicas el abordaje de las zonas a partir de 2 mapas identificados como zona Oeste (Figura 6.12) (comprende las parroquias Catia La Mar, Urimare, Carlos Soublette) y el mapa de la zona Este (Figura 6.13) (parroquias Macuto y Caraballeda). Cada mapa contiene cuadrículas (600 m x 600 m) sectorizadas según el Instituto Nacional de Estadísticas de Venezuela, con numeración y colores que permitieron programar las inspecciones rápidas que realizaron diariamente con el apoyo de más de 800 profesionales provenientes de todas partes del país. Un mes después de los eventos se habían alcanzado 9.302 inspecciones en más de 120 sectores de todo el Estado La Guaira, que constituyen la información básica para la planificación de corto y mediano plazo de atención a la población afectada.

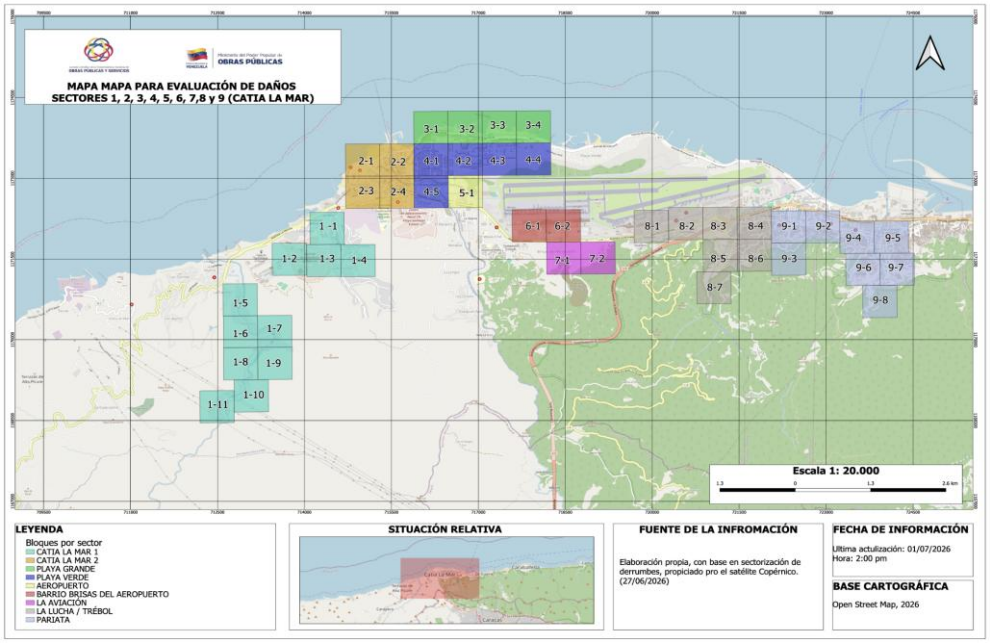


Figura 6.12*. Mapa con cuadrantes de inspecciones de la zona oeste de La Guaira.*

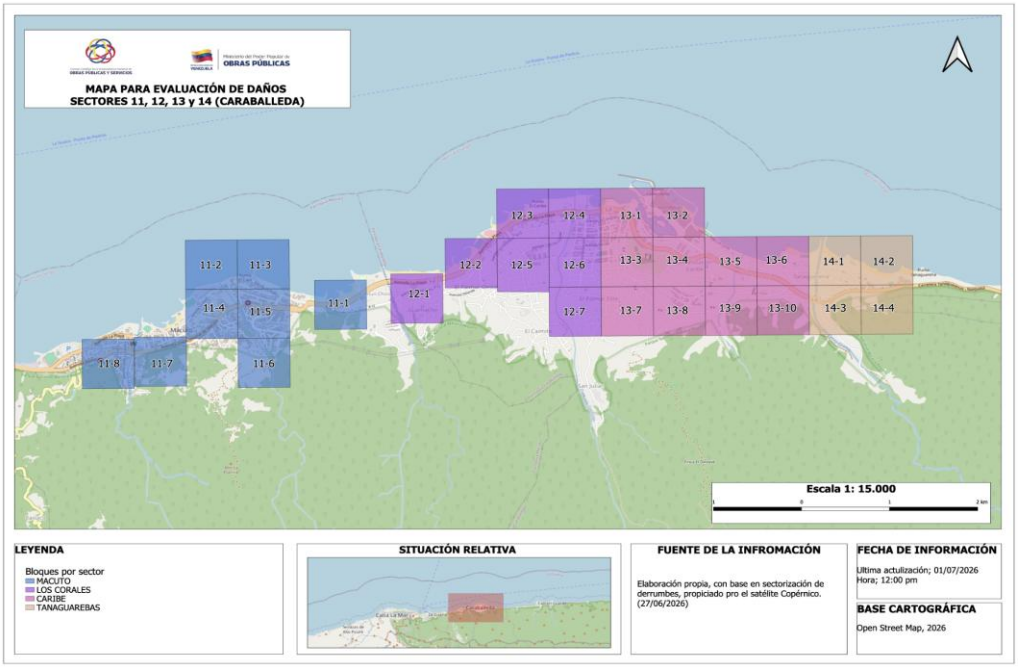


Figura 6.13. *Mapa con cuadrantes de inspecciones de la zona este de La Guaira.*

6.2. Plataforma HABITABLE

La plataforma digital HABITABLE se desarrolla durante la primera semana posterior al evento sísmico, con el objetivo principal de centralizar y facilitar la recopilación de datos correspondientes a las inspecciones de habitabilidad en las edificaciones donde el sismo del 24 de junio fue sentido. El sistema cuenta con un módulo para el inspector de campo, que cuenta con el formulario digitalizado para la Evaluación Rápida de Daños (Figura 6.14) y el mapa con la distribución geográfica de las inspecciones realizadas (Figura 6.15).

Dentro del módulo de administración (Figura 6.16) se gestiona la asignación de los entes operativos (instituciones que agrupan a un conjunto de inspectores), el registro de inspectores y el historial de las evaluaciones realizadas. Cada registro de evaluación en el sistema incluye los datos de la inspección, la ubicación geográfica, registros fotográficos, el número de certificado y un código QR asociado.



Figura 6.14. *Módulo del Inspector de Campo, Sistema Habitable.*

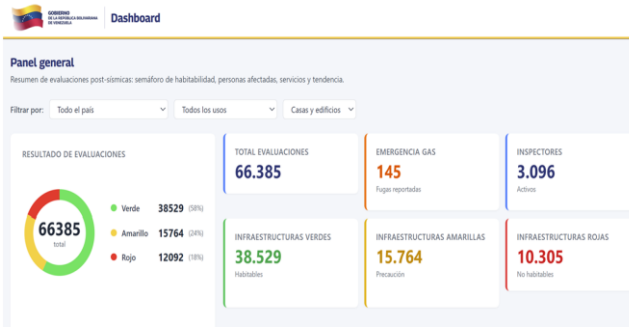


Figura 6.15. *Módulo Administrador, reporte de cifras en el Sistema Habitable.*

La plataforma Habitable ha evolucionado para registrar y gestionar de manera integral la información de las edificaciones afectadas, trascendiendo la evaluación rápida inicial. Para ello, se han incorporado nuevos módulos orientados a:

a) La auditoría de los datos recopilados.
b) El registro de edificios colapsados o por demoler.
c) La clasificación de edificaciones según el tipo de afectación (Riesgo Externo, Daños Estructurales Severos, Daños Estructurales Moderados y Daños No Estructurales).
d) Asimismo, el sistema dispone de un módulo de trazabilidad que registra el historial de cambios de estatus o color de etiqueta de cada edificación. Esto aplica en los casos donde se realiza una inspección detallada por especialistas o se ejecutan obras de reparación que modifican su nivel de riesgo.

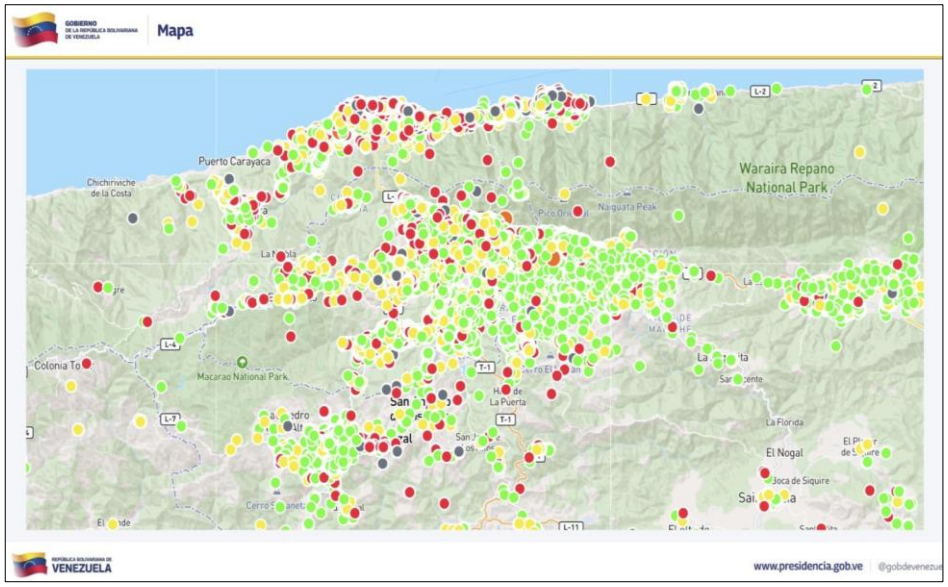


Figura 6.16. *Módulo Administrador, mapa de inspecciones en Sistema Habitable.*

6.3. Resultados

Los resultados de las inspecciones rápidas para el 01 de octubre de 2026 a través de la plataforma HABITABLE son de 63.070 inspecciones, este número es posterior a procesos de auditorías permanentes que se realizan en el sistema y el cual se explica en el apartado siguiente. El procesamiento global de la data muestra que el 58% de las estructuras inspeccionadas tienen calificación verde, mientras que un 24% amarilla y 18 % roja (engloban aquellas con daños estructurales y las colapsadas). Este nivel de daños es proporcional al número de edificaciones inspeccionadas en las zonas más afectadas y no del parque construido, siendo el parque construido en el área metropolitana de Caracas y en la Guaira muy superior al número de inspecciones realizadas. Los resultados generales de las inspecciones se presentan en la Figura 6.17.

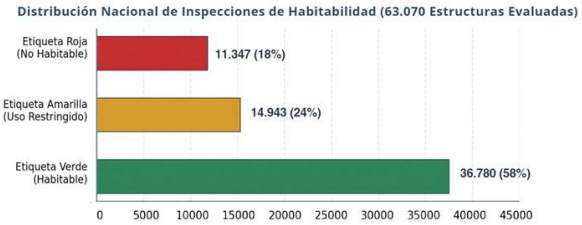


Figura 6.17.*: Distribución de etiquetas de habitabilidad a nivel nacional.*

El comportamiento de las edificaciones revela marcadas diferencias según la localización geográfica, la densidad urbana y la condición de sitio. La concentración de inspecciones se focaliza en el Distrito Capital (Caracas), el estado La Guaira y el estado Miranda. Siendo la Guaira la región que porcentualmente presenta mayor concentración de la severidad de los daños con 31,8% de las edificaciones evaluadas con calificación roja (Figura 6.18).

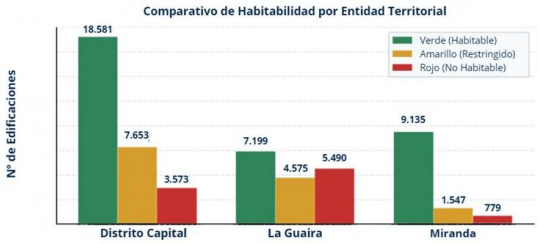


Figura 6.18. *Comparación de etiquetas de habitabilidad entre Caracas, La Guaira y Miranda*

6.4. Auditoría de datos

La herramienta de recolección de datos HABITABLE para el 12-09-2026 había consolidado 65.044 inspecciones georreferenciadas. La captura descentralizada en contingencia generó distorsiones geoespaciales (desplazamiento de GPS, multiplicidad de ubicación de pines) e imprecisiones en la clasificación de severidad estructural. Para depurar la base de datos se implementó un módulo de auditoría respaldado en tres frentes teóricos:

a) Enlace de Registros para asociar inspecciones duplicadas combinando distancia espacial y atributos alfanuméricos;
b) Agrupamiento Espacial Basado en Densidad para la detección de cúmulos de inspecciones colindantes;
c) Decisiones con Humano en el Bucle, garantizando que el criterio del revisor experto prevalezca sobre las capas de información de apoyo.

El módulo permite validar etiquetas de referencia y resolver cúmulos mediante una lista de chequeo flexible, permitiendo al auditor definir libremente particiones (agrupar en fichas principales, separar inmuebles adyacentes o crear subgrupos). Asimismo, se aplicó una auditoría de habitabilidad con una

definición estricta de colapso (pérdida total de entrepiso o elevación), corrigiendo sobre clasificaciones (405 casos reclasificados de etiqueta Negra a Roja) y subestimaciones (34 casos de Roja a Negra).

Para la fecha indicada se han auditado 861 registros (1,32% de la data total), divididos en 422 depuraciones espaciales (302 duplicados eliminados, 77 fusiones en 26 fichas principales y 17 coordenadas corregidas) y 439 reclasificaciones estructurales. La proyección faltante abarca 5.760 inspecciones (8,86%). La afectación total proyectada alcanzará 6.621 inspecciones (10,18% del total).

Tabla 6.1. *Resumen numérico de la auditoría ejecutada y proyección faltante (N = 65.044).*

Fase de Auditoría / Categoría	**Casos / Fichas (% Data Total)**
1. Auditados Ejecutados: Depuración Espacial y Fichas	422 (0,65%)
2. Auditados Ejecutados: Clasificación Estructural (Colapso)	439 (0,68%)
Subtotal Auditado Ejecutado	**861 (1,32%)**
3. Proyección Faltante	5.760 (8,86%)
Proyección Total Final De Auditoría	**6.621 (10,18%)**

La intervención proyectada del 10,18% de la base de datos confirma que la combinación de ciencia de datos espacial y evaluación experta es imprescindible para otorgar confiabilidad técnica, cartográfica y legal a la información de daños post-desastre.

6.5. Edificios derrumbados

De la plataforma HABITABLE se concluye que tuvieron colapso total o parcial un total de 1.529 edificaciones en el país, de los cuales 692 (45%) son edificios mayores a 3 pisos, mientras que 837 (55%) se califican como casas de 1 a 3 pisos.

Un total de 1.159 edificaciones en el Estado La Guaira tuvieron colapso total o parcial, se incluyen casas y edificios de todas las alturas. Ese número se reduce a 143 en el área metropolitana de Caracas. Sumando ambos se tiene un total de 1.302. La Figura 6.19 muestra su distribución por rango de pisos y por rango de años de construcción. Un 53% son edificaciones bajas, entre 1 y 3 pisos, mientras que un 31% están entre 4 y 7 pisos y un 16% son mayores o iguales a 8 pisos. En cuanto a la edad de construcción, un 52% fueron construidas entre 1968 y 2001, un 32% entre 2002 y 2020, un 13% antes de 1967 y un 3% después del 2021.

En la Tabla 6.2 se listan los once edificios derrumbados en el área metropolitana de Caracas con alturas mayores o iguales a 5 pisos. La Figura 6.20 muestra la localización de estos 11 edificios en la ciudad.

Tabla 6.2. *Lista de los 11 Edificios derrumbados en el área metropolitana de Caracas.*

Nº	**Nombre**	**Ubicación**	**Nº de Pisos**
1	Edificio Rita	San Bernardino	7
2	Edificio Marama	San Bernardino	5
3	Edificio Moises	San Bernardino	8
4	Edificio San Judas Tadeo	Las Fuentes, El Paraiso	8
5	Hospital Dr. Francisco A. Risquez	Cotiza	6
6	Bloque Residencial # 5	Pinto Salinas	5
7	Colegio Agustiniano San Judas Tadeo	La Pastora	6
8	Edificio Petunia I	Los Palos Grandes	14
9	Edificio Obelisco	Altamira	6
10	Edificio Don Pepe	Bello Campo	7
11	Banco Del Caribe	Altamira	5

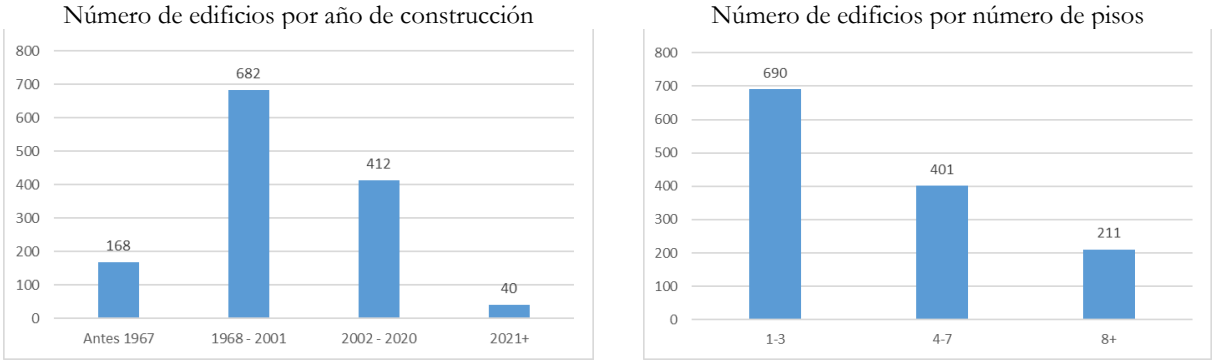


Figura 6.19. *Distribución por antigüedad de construcción y por altura de los 1.302 edificios colapsados (total o parcial) en el área metropolitana de Caracas y en el Estado La Guaira. El eje vertical señala el número de edificios.*

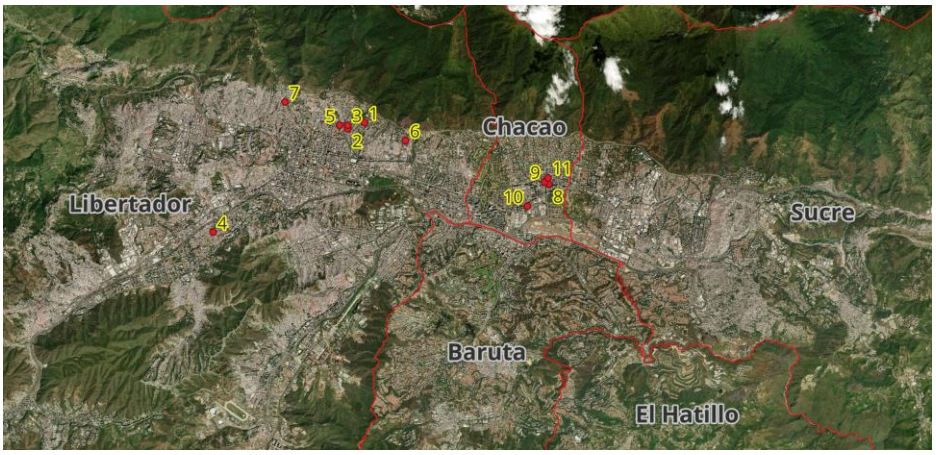


Figura 6.20. *Localización de los 11 edificios derrumbados en el área metropolitana de Caracas, según numeración dada en la Tabla 6.2.*

7. EVALUACION DETALLADA ESPECIALIZADA (FASE 2)

La evaluación detalla especializada (Fase 2) es aplicada a edificaciones que luego de la Fase 1 y de la posterior auditoria de control fueron ratificados con etiquetas Amarilla o Rojas, ver Figura 5.1. Consta de las siguientes etapas: 1) Revisión de la evaluación previa e información disponible, 2) Inspección externa detallada, 3) Inspección interna detallada, y 4) Formulación de recomendaciones (Comte Técnico Asesor del Terremoto, 2026-b). Como ejemplo de aplicación se presenta aquí el caso del Edificio Parque San Felipe A, situado en Altamira, Caracas, que sufrió daños graves durante el terremoto. La Figura 7.1 muestra una fachada del edificio luego del terremoto, el daño Severo/Completo en la columna B5, la Etiqueta Roja que se le colocó y un plano de planta donde se destacan las columnas con daño Severo/Completo y daño Moderado.



Figura 7.1. *Levantamiento detallado de daños del Edificio Parque San Felipe A en Altamira. (Fotos: G. Coronel Delgado. Plano de Semi Sótano, adaptado del suministrado por los propietarios).*

El edificio se le colocó etiqueta Roja luego la inspección rápida del 01/07/2026 de la Comisión Presidencial y la Alcaldía de Chacao, en ese momento ya se iniciaban labores de apuntalamiento por un equipo técnico conformado por propietarios con el apoyo de algunas empresas. Luego se hicieron evaluaciones contratadas por los propietarios y un levantamiento detallado de parte de Comité Técnico Asesor del Terremoto. Los resultados reflejan que el edificio sufrió aplastamiento y acortamiento axial de algunas columnas de los ejes 5, 6 y 7 en el semisótano y planta baja, mayores al 1% de su altura (con un máximo de 5,4%). Esto indujo un desplazamiento lateral remanente en varios pisos totalizando una deriva global de hasta 2,22% o 22,2 ‰ (PSG Ingenieros, 2026). En el semisótano al menos 4 columnas resultaron con daño Severo/Completo y 8 con Daño Moderado (Figura 7.1) y en planta baja un número similar de columnas resultaron afectadas. La recomendación de ambas evaluaciones coincide hacia la demolición debido a la excedencia de los limites sugeridos (acortamiento máximo de 1% y deriva remanente de 15‰) con severa pérdida de la geometría, la complejidad técnica y el posible alto costo de su recuperación.

8. DAÑOS EN EDIFICACIONES DE PÓRTICOS DE CONCRETO REFORZADO

El terremoto provocó daños extensos y el derrumbe de un gran número de edificaciones en el Estado La Guaira y Caracas. También se produjeron daños y colapsos en algunas edificaciones en los Estados Miranda, Aragua, Carabobo, Yaracuy y Falcón. La mayor parte de los daños y colapsos ocurrieron en edificaciones de pórticos de concreto reforzado con paredes de relleno de mampostería, destinadas a uso residencial. La conjunción de estas circunstancias ha generado una situación muy compleja, que implica el deterioro o la pérdida de sus viviendas a un importante número de personas.

El objeto de esta sección es documentar los daños y colapsos ocurridos durante el terremoto del 24 de junio de 2026 en edificaciones estructuradas con pórticos de concreto reforzado, destinadas a uso residencial. Se presta especial atención a los daños ocurridos en las localidades del Estado La Guaira y en la ciudad de Caracas, debido a su cercanía al sistema de Fallas de San Sebastián. También se presentan algunos casos de comportamientos sismorresistentes satisfactorios de edificaciones ubicadas en localidades afectadas por el terremoto.

8.1. Marco normativo

El diseño y la construcción de las edificaciones fueron reguladas en la primera parte del siglo XX por las normas elaboradas por el Ministerio de Obras Públicas de Venezuela (MOP). Los primeros códigos elaborados fueron las "Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1939" (MOP 1939), las "Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1947" (MOP 1948) y las "Normas para el Cálculo de Edificios MOP 1955" (MOP 1959). Estos documentos normativos contenían los lineamientos para el diseño de estructuras de concreto reforzado con base en la teoría clásica; también presentaban algunos lineamientos para el diseño sismorresistente de dichas estructuras, aunque con consideraciones muy básicas.

a) Normas específicas para el diseño de estructuras sismorresistentes

Como consecuencia del terremoto que afectó a la ciudad de Caracas el 29 de julio de 1967, se elaboró la "Norma provisional para Construcciones Antisísmicas" (MOP 1967a). Esta fue la primera norma específica para el diseño sismorresistente de edificaciones en Venezuela, que incorporó algunas de las enseñanzas dejadas por el terremoto como la consideración del efecto del tipo de suelo. Posteriormente, se elaboraron la Norma Venezolana "Edificaciones Antisísmicas" (COVENIN 1756-87), la Norma Venezolana "Edificaciones Sismorresistentes" (COVENIN 1756:2001) y la Norma Venezolana "Construcciones Sismorresistentes" (COVENIN 1756-1:2019). Estas normas fueron incorporando paulatinamente prescripciones más modernas para el diseño sismorresistente de las construcciones, de acuerdo con el avance del conocimiento, tales como el diseño por desempeño y el uso de sistemas de protección sísmica.

b) Normas específicas para el diseño de estructuras de concreto reforzado

De igual manera, a raíz del terremoto que afectó a la ciudad de Caracas en 1967, se elaboraron las "Normas para el Cálculo de Estructuras de Concreto Armado para Edificios 1967 - Teoría Clásica" (MOP 1967b). Esta fue la primera norma específica para el diseño de estructuras de concreto reforzado en Venezuela. Posteriormente, se elaboraron la Norma Venezolana "Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones - Análisis y Diseño" (COVENIN 1753-87) y la Norma Venezolana "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural" (FONDONORMA 1753:2006). Estas normas se basaron en el diseño para el estado límite de agotamiento resistente y –en términos generales– han seguido los lineamientos de los códigos elaborados por Comité 318 del Instituto Americano del Concreto (ACI 318) vigentes para el momento de su elaboración.

8.2. Modos de colapso estructural

Se observaron diversos modos de colapso estructural como consecuencia del terremoto ocurrido el 24 de junio de 2026. Las Figuras 8.1 a 8.6 ilustran algunos de los mecanismos de falla observados. El desarrollo de un mecanismo de falla en particular depende de diversos factores. Algunos de los modos de colapso observados en el Estado La Guaira pueden ser atribuidos a los efectos de campo cercano, debido a la cercanía de las edificaciones al sistema de fallas de San Sebastián. Estos efectos se caracterizan por grandes pulsos de aceleración, velocidad y desplazamiento del terreno, que inducen de manera súbita solicitaciones de gran intensidad en las edificaciones.

Cuando las edificaciones se encuentran lejos de las fallas sísmicas, lo que se conoce como campo lejano, sus respuestas dinámicas suelen ser oscilatorias como ocurrió en Caracas y otras localidades de Venezuela. Otra condición importante en la respuesta sísmica de las edificaciones se relaciona con los efectos de sitio, que tienden a amplificar el movimiento del suelo por la presencia de grandes profundidades de sedimentos. Esta condición está presente en las localidades de Catia La Mar y Caraballeda en el Estado La Guaira, y en las urbanizaciones Altamira, Los Palos Grandes y San Bernardino en Caracas. Otros aspectos que pueden condicionar la respuesta sísmica de una edificación son su configuración estructural, la calidad de los materiales estructurales, el detallado de los elementos estructurales y la interacción con los elementos no estructurales, como las paredes de mampostería.



Figura 8.1*. Desplome. Res. Rita Luna Palace, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



Figura 8.2*. Colapso parcial. Edificio El Jurel, Catia La Mar. Foto: N. Fernández.*



Figura 8.3*. Colapso de piso intermedio. Edificio Newport, Caraballeda, Foto: N. Fernández.*



Figura 8.4. *Colapso de planta baja. Residencias Mariola en Caraballeda (foto N. Fernández).*



Figura 8.5. *Colapso lateral. Edificio Coral Beach, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*

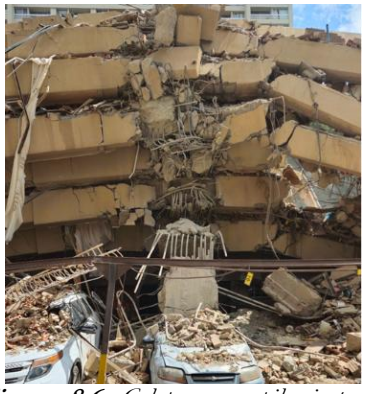


Figura 8.6. *Colapso con apilamiento de losas. Edificio Petunia I, Los Palos Grandes. Foto: N. Fernández.*

8.3. Fallas de elementos estructurales

Se observó el desarrollo de varios mecanismos de falla en columnas, vigas y nodos debido al terremoto del 24 de junio de 2026. Las Figuras 8.7 a 8.9 muestran las fallas por compresión de las columnas de algunas edificaciones. Este mecanismo de falla se caracteriza por la pérdida del recubrimiento, la trituración del núcleo y el pandeo de las barras de refuerzo longitudinal. Las Figuras 8.10 y 8.11 ilustran el desarrollo de rótulas plásticas en las columnas, caracterizadas por la pérdida del recubrimiento y la cedencia del refuerzo longitudinal. Las Figuras 8.12 a 8.14 muestran las fallas por corte de varias columnas, incluyendo una falla causada por el efecto de «columna corta» o «columna cautiva».

La falla por corte se caracteriza por la presencia de planos de falla inclinados que atraviesan los núcleos de las columnas. El detallado del acero de refuerzo longitudinal y transversal condiciona fuertemente el desempeño sísmico de una columna de concreto reforzado. La correcta ubicación de los empalmes por solape del acero longitudinal, la separación adecuada del refuerzo transversal, cerrado con ganchos a 135º en sus extremos, y el anclaje adecuado del refuerzo longitudinal en los nodos, con ganchos a 90º en sus extremos, contribuyen a garantizar desempeños sísmicos satisfactorios. Las Figuras 8.15 a 8.17 muestran que el incumplimiento de tales requisitos comprometió el desempeño sismorresistente de algunas columnas de concreto reforzado.



***Figura 8.7**. Falla por compresión de columna. Res. Manella, Bello Campo. Foto: A. Marinilli.*



***Figura 8.8**. Falla por compresión de columna. Torre Las Delicias, Maracay. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.9**. Falla por compresión de columna. Residencias Mar Caribe, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.10**. Rótula plástica en base de columna. Edif. OPPPE 30, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.11**. Rótula plástica en tope de columna. Residencias Mariola, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.12**. Falla por corte de columna. Res. Mediterráneo, Macuto. Foto: N. Fernández*



***Figura 8.13**. Falla por corte de columna. Edificio Coral Park, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.14**. Falla por «columna corta». Edificio Newport, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.15**. Comportamiento inadecuado de los empalmes por solape del refuerzo de una columna Foto: M. Hube.*



***Figura 8.16**. Detalle del refuerzo transversal de columna con ganchos a 90º. Residencias Mar Caribe, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*

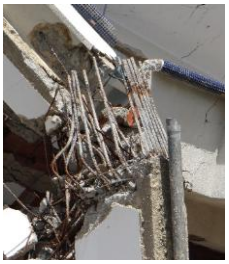


***Figura 8.17**. Detalle de anclaje de refuerzo longitudinal sin ganchos en columna. Edif. Parque Caraballeda. Foto: N. Fernández.*

Las Figuras 8.18 a 8.20 muestran diversos aspectos del comportamiento de las vigas de concreto reforzado a flexión, como lo son el agrietamiento del concreto y el desarrollo de rótulas plásticas. El agrietamiento por flexión se produce en dirección perpendicular al eje longitudinal de la viga. El desarrollo de las rótulas plásticas se caracteriza por la pérdida del recubrimiento y la cedencia del refuerzo longitudinal. Las Figuras 8.21 y 8.22 muestran las fallas por corte de algunas vigas, las que se caracterizan por la presencia de grietas con inclinación de aproximadamente 45º. Es importante observar que el diseño sismorresistente de los pórticos de concreto reforzado apunta al desarrollo de rótulas plásticas en los extremos de las vigas y evitar su desarrollo en las columnas, lo que se conoce como «condición columna fuerte viga débil».



***Figura 8.18**. Grieta por flexión en viga. Edif. Pas-Mar. Los Palos Grandes. Foto: A. Marinilli.*



***Figura 8.19**. Rótula plástica en viga. Edificio Costa Bella, Caraballeda. Foto: D. Pizarro y F. Rojas.*



***Figura 8.20**. Rótula plástica en viga. Residencias Mar Caribe, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.21**. Agrietamiento por corte en vigas. Edificio OPPPE 30, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.22**. Agrietamiento por corte en viga. Edificio Punta Brisa, Macuto. Foto: N. Fernández.*

Los nodos juegan un papel muy importante en el desempeño sismorresistente de una edificación, el cual no se limita a servir como elementos de conexión entre las vigas y las columnas de un pórtico de concreto reforzado. Los nodos deben poseer resistencia a corte suficiente para garantizar el desarrollo de los mecanismos plásticos previstos en el diseño –específicamente la formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas– y asegurar el anclaje efectivo del acero de refuerzo longitudinal de los elementos estructurales que conectan. Para coadyuvar al cumplimiento de estos propósitos, las normas de diseño exigen la colocación de acero de refuerzo transversal en los nodos para garantizar su adecuado confinamiento. Las Figuras 8.23 a 8.28 ilustran algunos de los mecanismos de falla observados, como el agrietamiento diagonal, la trituración del concreto y el anclaje inadecuado del refuerzo longitudinal de las vigas, que usualmente están relacionados con la ausencia de acero de refuerzo transversal en los nodos.



***Figura 8.23**. Agrietamiento diagonal de nodo. Edificio en Guatire. Foto: J. Morales.*



***Figura 8.24**. Falla de nodo. Edificio Costa Azul, Catia La Mar (Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.25.** Falla de un nodo de las Residencias Mariola en Caraballeda (fotografía N. Fernández).*



***Figura 8.26**. Falla de nodo. Edificio Vista Mar, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.27**. Falla de nodos. Edificio El Jurel, Catia La Mar. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.28**. Falla de nodo. Edificio Bahía Mar, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*

8.4. Fallas en elementos no estructurales

También se produjeron daños en elementos no estructurales de forma masiva como consecuencia del terremoto del 24 de junio de 2026, particularmente en las paredes de mampostería de relleno. Las Figuras 8.29 a 8.31 muestran los daños típicos observados en la mampostería de relleno, los cuales consisten en la separación de las paredes de la estructura, el agrietamiento diagonal y la trituración de la mampostería. Estos daños suelen concentrarse en los niveles inferiores de las edificaciones, donde tienden a ocurrir las mayores derivas de piso durante un sismo. Para comprender mejor esta situación se deben considerar los siguientes aspectos. En primer lugar, los pórticos de concreto reforzado son relativamente flexibles, por lo que son propensos a sufrir deformaciones laterales grandes durante los sismos de gran intensidad.



***Figura 8.29**. Daños en paredes de mampostería. Edificio Green Palace, Los Palos Grandes. Foto: A. Marinilli.*



***Figura 8.30**. Daños en paredes de mampostería. Edificio Mar de la Plata, Los Palos Grandes. Foto: A. Marinilli).*



***Figura 8.31**. Daños en paredes de mampostería. Residencias Parque del Caribe, Macuto. Foto: N. Fernández).*

Segundo, las paredes de mampostería se agrietan con deformaciones laterales pequeñas, por lo que tienden a fisurarse en los primeros instantes de la respuesta sísmica de las edificaciones. Además de considerar el efecto de la interacción de las paredes de mampostería sobre la respuesta sísmica de una edificación, es muy importante considerar también el peligro que representa el colapso de dichas paredes para la integridad física de las personas y la posible obstaculización de las vías de escape. Las Figuras 8.32 a 8.35 muestran algunos ejemplos del colapso de paredes de mampostería de relleno durante el terremoto.



***Figura 8.32**. Colapso de mampostería. Edificio El Ancla, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.33**. Colapso de mampostería. Residencias Mar Caribe, Caraballeda. Foto: N. Fernández.*



***Figura 8.34**. Colapso de paredes de mampostería en vivienda. Edif. Costa Bella, Caraballeda. Foto: D. Pizarro y F. Rojas).*



***Figura 8.35**. Colapso de paredes de mampostería en pasillo. Edif. Costa Bella. Caraballeda Foto: D. Pizarro y F. Rojas.*

8.5. Comportamientos satisfactorios

Por otra parte, es importante destacar que de igual manera se produjeron comportamientos satisfactorios en muchas edificaciones durante el terremoto ocurrido el 24 de junio de 2026. Las Figuras 8.36 a 8.38 corresponden a algunos edificios que no mostraron daño estructural o no estructural después del terremoto. Algunos de los factores que inciden favorablemente en el desempeño sismorresistente de los edificios de pórticos de concreto reforzado son poseer una configuración estructural adecuada, la ausencia de irregularidades en planta y elevación, el uso de materiales estructurales de buena calidad, el cumplimiento de la «condición columna fuerte viga débil», y el detallado correcto del acero de refuerzo longitudinal y transversal en columnas, vigas y nodos.



***Figura 8.36**. Edificio Banco del Orinoco sin daños. Los Palos Grandes. Foto: A. Marinilli).*



***Figura 8.37**. Edificio sin daños ubicado en el Estado La Guaira (fotografía M. Hube).*

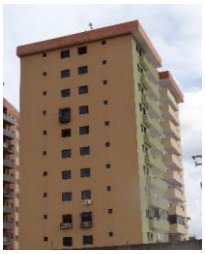


***Figura 8.38**. Edificio Bosque Lindo sin daños. Maracay. Foto: N. Fernández).*

9. EDIFICACIONES CON MUROS DE CONCRETO REFORZADO, EVIDENCIA DE CAMPO Y PATRONES DE DAÑO

9.1. Contexto de las observaciones realizadas

Los terremotos recientes han demostrado que edificaciones con muros de concreto reforzado pueden presentar respuestas sísmicas muy diferentes aún bajo demandas comparables, debido a factores como la configuración y continuidad de los muros, el detallado del refuerzo, las condiciones geotécnicas, la calidad constructiva y el deterioro acumulado. El terremoto del 24 de junio de 2026 permitió evaluar este comportamiento en el estado La Guaira, Venezuela, donde existe una alta concentración de edificaciones con muros de concreto reforzado emplazadas, en muchos casos, sobre depósitos costeros y aluviales y expuestas a un ambiente marino agresivo. Las inspecciones post-sísmicas evidenciaron desde daños severos en la base y primeros niveles de los muros, incluyendo aplastamiento del concreto, pandeo y fractura del refuerzo y daño en regiones de borde, hasta estructuras de tipología similar que mantuvieron su estabilidad global con daños limitados. En este contexto, el estudio compara casos con daño significativo, como Mare II, La Llovizna y Residencias G, con casos de comportamiento favorable, como Mare I, Algarín Paila II y desarrollos habitacionales de baja altura, con el objetivo de identificar los factores que condicionaron estas diferencias de desempeño y aportar evidencia para mejorar el diseño, detallado, control de calidad y evaluación de edificaciones existentes en regiones costeras de elevada amenaza sísmica.

9.2. Edificaciones con desempeño sísmico limitado

a) Urbanismo Mare II

Este urbanismo se encuentra dentro del complejo Mare Abajo compuesto por los urbanismos Mare I, Mare II y Las Pailas Algarín II de la parroquia Carlos Soublette del Estado La Guaira. El urbanismo Mare II comprende estructuras caracterizadas por muros delgados, vaciados en sitio mediante encofrados metálicos modulares (sistemas tipo túnel), con malla de refuerzo electrosoldada central, los edificios que conforman el complejo presentan muros en las dos direcciones principales de la estructura. En la Figura 9.1 se presenta una vista aérea del complejo, se observa el urbanismo Mare II (recuadro azul) y en el recuadro rojo los edificios menos afectados, que pueden ser recuperables. El urbanismo está constituido por 22 edificios, de los cuales 19 fueron afectados por el terremoto, mientras que 3 evidenciaron un daño menor. Es importante destacar que las edificaciones se encuentran en un depósito aluvional reciente y experimentaron asentamiento, pérdida de verticalidad en algunos edificios y en los afectados presenta daño generalizado en las paredes de mampostería.



Figura 9.1. *Complejo Mare Abajo*



Figura 9.2. *Urbanismo Mare II*

En la Figura 9.2 y Figura 9.3(a), se presenta el urbanismo Mare II, se observa el daño no estructural en las edificaciones, con caída completa de paños y en algunos casos colapso total de los balcones. Otro problema presente en el urbanismo es la falta de mantenimiento y la consecuente afectación por corrosión en los muros estructurales de concreto reforzado, Figuras 9.3(b), 9.3(c) y 9.3(d), al ser muros de poco espesor el recubrimiento es menor al que exige la norma por ambiente agresivo costero.

a) Caída de muros de mampostería



b) Corrosión en muros de concreto



c) Corrosión de borde de fachada



d) Corrosión en muro lateral externo



Figura 9.3. *Urbanismo Mare II.*

a) Urbanismo La Llovizna

La Urbanización La Llovizna, Figura 9.4, ubicada en el sector de Playa Grande en Catia La Mar, Estado La Guaira, presentó daños severos en los muros de concreto reforzado en la base y primeros niveles de algunos de sus edificios, Figura 9.5, son 6 edificios conformados por muros de concreto reforzado en las dos direcciones principales de la edificación, de 15 centímetros de espesor en la dirección transversal y 20 centímetros de espesor en la dirección longitudinal, alternando muros libres transversalmente y muros compuestos en forma de T.



Figura 9.4. *Urbanismo La Llovizna*



Figura 9.5. *Urbanismo La Llovizna*

El rol de la configuración de los muros fue fundamental, la distribución en planta con muros de pasillo largos en una dirección y muros perpendiculares en la dirección transversal, denominados patrón de espina de pescado, dan como resultado edificios donde la resistencia a las fuerzas laterales es proporcionada por muros con secciones transversales en forma de T y de muros rectangulares. Investigaciones sobre muros con secciones transversales en forma de T han revelado que estos muros se comportan de manera sustancialmente diferente a los muros rectangulares con refuerzo longitudinal

(vertical) colocado simétricamente (Wallace 1995, 1996; Thomsen y Wallace 2004). Para un muro con sección transversal en forma de T, el extremo del alma (nervio) está sometido tanto a grandes deformaciones por tracción como por compresión, por lo que esta región típicamente debe estar bien confinada para evitar el aplastamiento del concreto y el pandeo del refuerzo.

En resultados obtenidos por Thomsen y Wallace (2004) indican una pérdida significativa en la capacidad de carga lateral para los muros en T, las fallas por inestabilidad lateral y la fractura del refuerzo vertical del extremo del alma del muro, sugieren que la falta de refuerzo transversal en los extremos de los muros en forma de T pudo haber jugado un rol significativo en el nivel de daño observado en los muros de este conjunto residencial, por lo que deberían ser revisados cuidadosamente los criterios empleados para su diseño.

En las Figuras 9.6 (a) y 9.6 (b), se presenta una vista del daño estructural de los muros de concreto reforzado en el lateral de uno de los edificios y en la zona central del mismo, como se explicó anteriormente se generaron tensiones de tracción y corte muy fuertes en estos elementos; en las figuras 9.6 (c) y 9.6 (d), se observan daños en los muros del primer nivel de uno de los edificios. El daño no estructural presente en todos los edificios fue muy significativo, la caída de paredes de mampostería fue generalizada, el colapso de los sistemas de drenaje de aguas negras y los cajones de servicio por donde se conectan distintos niveles de los edificios se colapsaron. A pesar del nivel de daño presente en las edificaciones, las zonas de circulación (pasillos y escaleras) quedaron integras para permitir el desalojo de los habitantes, demostrando una resiliencia fundamental para la sobrevivencia.

a) Muro lateral PB b) Muro interno PB c) Muro interno Piso 1 d) Muro Piso 1



Figura 9.6*. Detalle de daño estructural en muros del edificio*

b) Residencias G

Residencias G ubicada en el sector de Playa Grande en Catia La Mar, Estado La Guaira, es un edificio de construcción privada reciente (se estima alrededor de 2016), donde se presenta daño en la base de los muros de concreto reforzado y en algunos muros de los pisos superiores, se observa la fractura y pandeo de barras de acero de refuerzo. En la Figura 9.7(a) se da una visual general de la edificación, que indica que la estructura es en apariencia simétrica; la Figura 9.7(b) muestra uno de los muros de concreto reforzado lateral externo con falla y pandeo del acero de refuerzo, con un arreglo del mismo que entre capas es muy cercano y ocasiona un efecto de articulación en el sector; la Figura 9.7(c) indica los dinteles de la parte central frontal de la edificación con un detallado mínimo de sostenimiento, dos acero de refuerzo en cada lateral, lo cual es un riesgo latente de caída en el sitio; finalmente la Figura 9.7(d) muestra el colapso de la escalera en los niveles superiores, con despegue de la viga de soporte intermedio y revelando un armado de malla electrosoldada con fractura parcial.

a) Vista general del edificio b) Aplastamiento y pandeo de muro lateral en la base c) Detalle de dintel, detallado deficiente d) Detalle de falla en núcleo de escaleras.



Figura 9.7*. Residencias G.*

En el nivel dos se observa desde el frente de la edificación una fractura de uno de los muros de corte, Figura 9.8 (a); en la Figura 9.8 (b) se presenta una remodelación en uno de los apartamentos donde se cortó una sección rectangular del muro de concreto reforzado para establecer un acceso entre apartamentos, lo que ocasionó el fallo local del muro de soporte. En la Figura 9.9 se presenta un detalle de la planta general del edificio, correspondientes a una aproximada de 29 metros de largo por 12 metros de ancho, efectivamente es una planta regular, con simetría en la dirección longitudinal y asimetría en la dirección transversal, lo que es indicativo probable de torsión en la respuesta. Adicionalmente, la rigidez transversal es mucho mayor que la longitudinal, por lo que la preferencia de vibración es en el sentido longitudinal, como se pudo verificar en la respuesta en el sitio donde se presentó cabeceo en esa dirección. Es importante destacar que en varios niveles se logró establecer una fractura entre el núcleo de ascensores y parte del soporte lateral de la escalera, siguiendo la línea roja indicada en planta, lo que establece una discontinuidad en la transmisión de esfuerzos en la estructura, propiciando ruptura y colapso en los niveles superiores.

a) Vista exterior b) Vista interior



Figura 9.8. *Detalle de falla en el muro del segundo nivel.*

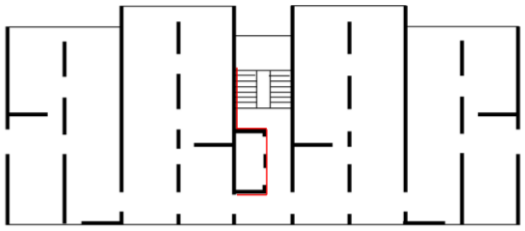


Figura 9.9. *Planta de la edificación*

9.3. Edificaciones con desempeño sísmico favorable

En esta sección se documentan casos de edificaciones con sistemas de muros de concreto reforzado que resistieron los mismos eventos sísmicos presentando daños reparables, lo cual muestra que la tecnología es segura cuando se aplica correctamente.

a) Urbanismo Mare I

El Urbanismo Mare I (recuadro verde de la Figura 9.1) ubicado en el sector Mare Abajo del Municipio Vargas, constituye un caso de desempeño favorable de edificaciones con muros de concreto reforzado sometidas a movimientos sísmicos severos de fuente cercana. El conjunto está conformado por 10 módulos de edificios de seis pisos (Figura 9.10), construidos sobre una terraza conformada con mejoramiento local del terreno. El sistema estructural dispone de muros portantes continuos en ambas direcciones principales, vinculados mediante elementos que favorecieron un comportamiento diafragmático y una adecuada distribución de las cargas laterales. Las inspecciones no identificaron grietas significativas en los muros estructurales que comprometieran la estabilidad global, observándose únicamente fisuras de reducido espesor y daños limitados en la mampostería. En consecuencia, las intervenciones requeridas corresponden principalmente a la remoción localizada del recubrimiento para evaluación, su posterior restitución y reparaciones menores, haciendo factible la rehabilitación de las viviendas.

b) Las Pailas de Algarín

El urbanismo Algarín Paila II es similar al Mare I (recuadro purpura de la Figura 9.1), está conformado por 16 módulos de edificios de 6 pisos. El sistema estructural está basado en muros de concreto reforzado continuos, en las direcciones principales de la estructura y con elementos confinados, distribuyendo eficientemente las cargas laterales del sismo. La inspección mostró daños menores, por lo tanto, es factible restituir a su condición original, siendo posible la rehabilitación de las viviendas.

c) Urbanismo OPPPE 62

El urbanismo OPPPE 62 corresponde a edificios de 2 niveles (ver Figuras 9.11 y 9.12), ubicados en Playa Grande, Tanaguarena y Caraballeda del Estado La Guaira. El sistema estructural está conformado por muros portantes continuos, en las direcciones principales de la estructura y con elementos confinados, lo cual permitió la distribución eficiente de las cargas laterales del sismo. Los daños observados fueron menores y su rehabilitación es factible. En algunos casos se han presentado daños en las obras de cerramiento externo de los patios de las viviendas del urbanismo, realizadas en mampostería no confinada, realizadas de forma no organizada y sin diseño de soportes adecuados (autoconstrucción).



Figura 9.10*. Urbanismo Mare I*



Figura 9.11*. Detalle lateral Urbanismo OPPPE 62*



Figura 9.12*. Detalle frontal Urbanismo OPPPE 62*

9.4. Factores diferenciales del comportamiento de muros de concreto reforzado

El contraste entre las edificaciones que presentaron daño estructural significativo y aquellas que exhibieron un desempeño satisfactorio permite identificar un conjunto de factores que, de manera individual o combinada, pudieron condicionar la respuesta observada. Estos factores comprenden aspectos geotécnicos, estructurales, constructivos y de durabilidad. Debido a la naturaleza observacional del reconocimiento post-sísmico, no resulta apropiado atribuir los mecanismos de falla a una única causa sin disponer de análisis estructurales y geotécnicos específicos. No obstante, la evidencia recopilada permite establecer tendencias y condiciones recurrentes que contribuyen a interpretar las diferencias de desempeño entre las edificaciones estudiadas.

a) Condiciones de suelo y efecto de sitio

Las condiciones geotécnicas del emplazamiento constituyen un factor relevante para interpretar las diferencias de desempeño observadas, particularmente en la franja costera de La Guaira, donde depósitos sedimentarios y aluviales de distintas características pueden modificar la amplitud, contenido frecuencial y duración del movimiento sísmico, incrementando potencialmente las demandas estructurales. En algunos casos se observaron además asentamientos diferenciales, deformaciones permanentes del terreno y pérdida de verticalidad, lo que evidencia la necesidad de considerar conjuntamente la respuesta estructural y geotécnica. Para establecer relaciones causales entre las condiciones del suelo y el daño observado, se requiere complementar el reconocimiento de campo con perforaciones, perfiles de velocidad de onda de corte, profundidad del basamento, nivel freático y análisis de respuesta sísmica local.

b) Calidad de ejecución, materiales y control de construcción

Las inspecciones evidenciaron condiciones asociadas a la calidad de ejecución y al deterioro de los materiales que pudieron influir en el desempeño sísmico, incluyendo recubrimientos insuficientes, corrosión del refuerzo, configuraciones de armado desfavorables y deficiencias locales de construcción. En muros delgados, pequeñas desviaciones en la posición del acero, problemas de compactación o discontinuidades de vaciado pueden reducir significativamente la capacidad resistente y de deformación, especialmente en regiones críticas sometidas a ciclos de compresión y tracción. Esta vulnerabilidad puede incrementarse en ambientes marinos, donde la penetración de cloruros favorece la corrosión, la pérdida de sección del acero, la reducción de adherencia y el desprendimiento del recubrimiento. Por ello, la calidad de los materiales, la correcta disposición y anclaje del refuerzo, el recubrimiento, la compactación y el control de ejecución son determinantes para garantizar un desempeño compatible con las hipótesis de diseño.

c) Sistema estructural, distribución y continuidad de los muros

La configuración del sistema resistente lateral fue uno de los factores que más claramente diferenciaron el desempeño observado. Las edificaciones con mejor respuesta presentaron muros distribuidos en ambas direcciones principales, continuidad vertical y una organización relativamente regular en planta, favoreciendo una transmisión directa de las acciones sísmicas y reduciendo concentraciones de demanda y efectos torsionales. En contraste, las estructuras con daño severo mostraron discontinuidades, diferencias importantes de rigidez entre direcciones y configuraciones geométricas susceptibles de concentrar esfuerzos. Particular atención requieren los sistemas que combinan muros rectangulares y secciones T, ya que la participación del ala modifica la posición del eje neutro, la capacidad resistente y la distribución de deformaciones, pudiendo generar elevadas demandas de compresión y tracción en los extremos del alma. Por ello, el desempeño sísmico no depende únicamente de la cantidad de muros, sino también de su posición, longitud, geometría, continuidad vertical, confinamiento e interacción con el sistema estructural.

d) Detallado sísmico y confinamiento de regiones críticas

Las zonas extremas de los muros estructurales concentran las mayores deformaciones de compresión y tracción durante la respuesta inelástica, por lo que su desempeño depende del confinamiento del concreto, la estabilidad del refuerzo longitudinal y la adecuada disposición del refuerzo transversal. Las inspecciones evidenciaron aplastamiento y desprendimiento del concreto, exposición, pandeo y fractura local de barras, mecanismos consistentes con la concentración de deformaciones en regiones críticas. Estos daños resaltan la importancia del diseño y detallado de los elementos de borde, ya que un confinamiento insuficiente o una separación excesiva del refuerzo transversal puede favorecer el pandeo de las barras tras la pérdida del recubrimiento. En consecuencia, el buen desempeño no depende únicamente de la resistencia inicial del muro, sino también de su capacidad para mantener resistencia y estabilidad bajo ciclos repetidos de deformación.

e) Durabilidad y deterioro previo

Otro factor relevante identificado durante el reconocimiento fue el estado de conservación de las estructuras antes del terremoto. En diferentes edificaciones se observaron procesos avanzados de corrosión, fisuración y desprendimiento del concreto, particularmente en elementos expuestos al ambiente costero. El deterioro previo puede reducir progresivamente las propiedades mecánicas y resistentes consideradas originalmente durante el diseño. La corrosión disminuye la sección efectiva del acero, modifica sus condiciones de adherencia y puede afectar la capacidad del refuerzo transversal para confinar el concreto y estabilizar las barras longitudinales. Este aspecto resulta especialmente importante para La Guaira, donde la agresividad ambiental asociada a la proximidad del mar debe considerarse conjuntamente con las demandas sísmicas. El desempeño frente a terremotos no depende únicamente del diseño original, sino también del estado real de conservación de la estructura al momento del evento.

f) Modificaciones realizadas durante la vida útil

Las intervenciones efectuadas posteriormente a la construcción constituyen otro factor potencialmente significativo. Durante las inspecciones se identificaron casos donde se habían realizado aperturas o modificaciones en muros estructurales para adaptar la distribución interior de las viviendas. La remoción parcial de un muro de concreto reforzado altera la sección resistente, la trayectoria de las fuerzas y la distribución de rigidez del sistema. Dependiendo de su ubicación, estas modificaciones pueden producir concentraciones locales de tensiones y reducir tanto la capacidad resistente como la rigidez lateral. Estas observaciones ponen de manifiesto la necesidad de establecer mecanismos de control sobre las intervenciones realizadas en edificaciones existentes, particularmente cuando afectan elementos pertenecientes al sistema resistente sísmico.

10. VIVIENDAS POPULARES

Se define como vivienda popular a aquella edificación concebida y construida sin el cumplimiento estricto de las normas técnicas nacionales de diseño, así como sin la supervisión, asistencia técnica ni fiscalización por parte de ingenieros colegiados u organismos municipales competentes. Estas estructuras nacen como respuesta progresiva de autoproducción para solventar el déficit habitacional en asentamientos espontáneos, caracterizándose por una alta densidad, crecimiento vertical no planificado y emplazamiento frecuente en terrenos de alta susceptibilidad geológica y topográfica.

En Venezuela se tipifican cinco sistemas constructivos fundamentales en los sectores populares: 1) Construcción Precaria (VCP): estructuras compuestas por materiales improvisados de desecho (láminas metálicas, madera, cartón); 2) Bahareque (VB): caña brava entretejida con barro y revoque; 3) Mampostería No Confinada (MMNC): muros portantes de bloques trabados sin elementos de amarre perimetral; 4) Mampostería Confinada (MMC): muros de bloques enmarcados por machones y vigas de corona de concreto reforzado; y 5) Sistema Mixto de Pórticos y Mampostería de Baja Calidad (PMBC): combinación de pórticos de concreto reforzado y mampostería no confinada con función portante. Este último es el esquema dominante en el hábitat popular (prevalencia de 60.4%), presentando severas deficiencias como columnas de escasa sección (25x25 cm), ausencia de vigas en una dirección, discontinuidad de ejes verticales y estribos sin ángulos a 135° (Páez, 2016; López et al., 2016).

Al 11 de septiembre de 2026, se han inspeccionado 21.422 viviendas, considerando viviendas a aquellas edificaciones entre 1 y 3 niveles, construidas con sistemas constructivos de pórticos y mampostería, con y sin criterios técnicos. En estos momentos nos encontramos realizando la auditoría de la data levantada, con el objetivo de establecer una cartografía detallada, donde se ubique de manera gráfica la delimitación de los sectores populares y formales, para realizar un análisis detallado de los daños presentados, por tipo constructivo y número de pisos, para el presente documento se presentará un caso de estudio, el sector popular Playa Verde, de la parroquia Urimare del estado La Guaira.

Tras el evento sísmico del 24 de junio de 2026, se evaluaron 660 viviendas populares en Playa Verde, repartidas en cinco subsectores operativos A, B, C, D y E (Figura 10.1). El diagnóstico cuantitativo se categorizó mediante etiquetas: Verde (Habitable: 170 viviendas, 25,76%), Amarillo (Habitable restringido: 229 viviendas, 34,70%), Rojo (Inhabitable / Daño severo: 230 viviendas, 34,86%) y Rojo Colapsado (Colapso / Riesgo geológico: 31 viviendas, 4,70%). El porcentaje combinado de viviendas afectadas severamente (Rojo + Rojo colapsado) alcanza el 39,55% (261 viviendas), mientras que al sumar las viviendas con habitabilidad restringida (Amarillo), el nivel de afectación global del sector asciende al 74,24% (490 viviendas).



Figura 10.1. *Distribución de etiquetas del sector Playa Verde, de la parroquia Urimare del estado de La Guaira. Imagen: L. C. Rivas.*

Tabla 10.1. *Distribución de Etiqueta en el sector popular Playa Verde.*

Etiqueta / calificación	Cantidad de Viviendas populares	% Porcentaje
Verde / Habitable	170	25,76
Amarillo / Restringido	229	34,70
Rojo / Inhabitable	230	34,85
Negro / Colapso	31	4,70
Total Inspeccionadas	**660**	**100**

En la Tabla 10.2 y en las figuras 10.2 a 10.4 se presentan resultados por sub sector. El sub sector A representa la mayor concentración de viviendas inspeccionadas en Playa Verde (242), representando un 36,67% de la muestra total, así mismo, es el que presenta la mayor cantidad de viviendas categorizadas en rojo (91) y también amarillas (87). De las 242 viviendas inspeccionadas solo 57 (23,55%) fueron categorizadas habitables y 7 viviendas etiquetadas como colapsadas (2,89%).

El sub sector B, se inspeccionaron 141 viviendas, presentó una distribución comparativamente simétrica: 46 verdes (32,62%), 46 amarillas (32,62%) y 43 rojas (30,50%). Se catalogaron como colapso 6 viviendas (4,26%). En el sub sector C predominio de afectación moderada-restringida: 60 viviendas Amarillas (39,22%). De las 153 viviendas inspeccionadas 47 se categorizaron rojas (30,72%), 40 se categorizan verdes (26,14%) y 6 se categorizaron como colapsadas (3,92%).

El sub sector D constituye uno de los núcleos de mayor severidad relativa: el 41,76% (38 viviendas) se etiquetaron como rojo, superando al porcentaje de viviendas habitables (18 verdes; 19,78%). 28 viviendas (30,77%) obtuvieron etiqueta amarilla y 7 viviendas (7,69%) fueron dictaminadas como colapsadas. El sub sector E es la muestra de menor tamaño, 33 viviendas inspeccionadas, pero con una mayor tasa de riesgo del sector Playa Verde, alcanzando un 15,15% (5 viviendas colapsadas). Las viviendas rojas representaron el 33,33% (11 viviendas), las verdes un 27,27% (9 viviendas) y las amarillas un 24,24% (8 viviendas)

Tabla 10.2. *Distribución de Etiquetas en el cada sub sector popular de Playa Verde.*

Sub-sector	Muestra (N)	Verde (%)	Amarillo (%)	Rojo (%)	Negro (%)	Impacto Crítico
A	242	57 (23,55%)	87 (35,95%)	91 (37,60%)	7 (2,89%)	Predomina Rojo/Amarillo
B	141	46 (32,62%)	46 (32,62%)	43 (30,50%)	6 (4,26%)	Distribución homogénea
C	153	40 (26,14%)	60 (39,22%)	47 (30,72%)	6 (3,92%)	Predomina Amarillo
D	91	18 (19,78%)	28 (30,77%)	38 (41,76%)	7 (7,69%)	Predomina
E	33	9 (27,27%)	8 (24,24%)	11 (33,33%)	5 (15,15%)	Mayor % de riesgo geológico (Negro)
TOTAL	**660**	**170 (25,76%)**	**229 (34,70%)**	**230 (34.85%)**	**31 (4,70%)**	**74,25% de afectación global**

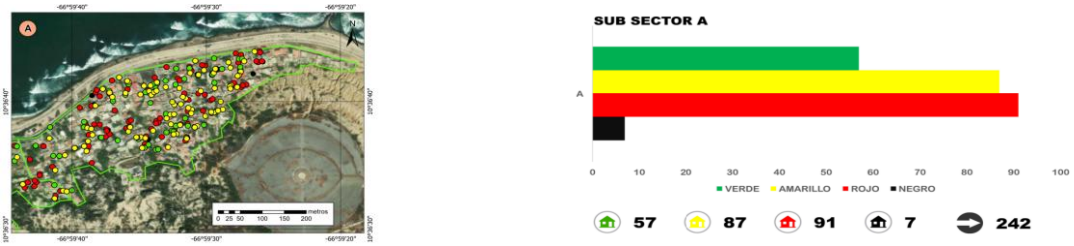


Figura 10.2. *Distribución de etiquetas del sub sector A, Playa Verde. Imagen: L.C. Rivas.*

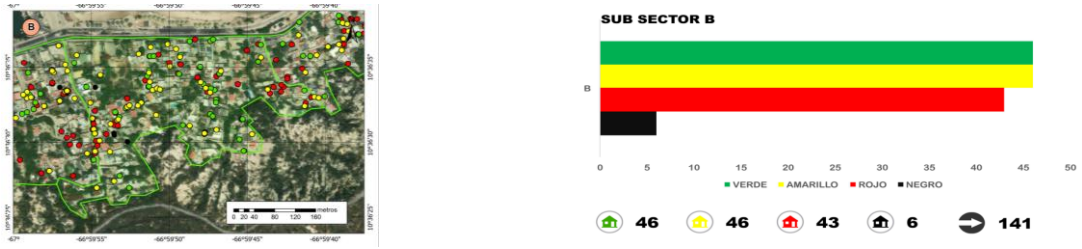


Figura 10.3*. Distribución de etiquetas del sub sector B, Playa Verde. Imagen: L.C. Rivas.*

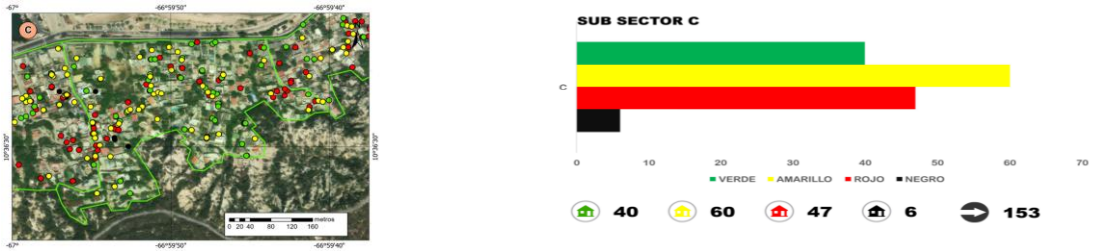


Figura 10.4. *Distribución de etiquetas del sub sector C, Playa Verde. Imagen: L.C. Rivas.*

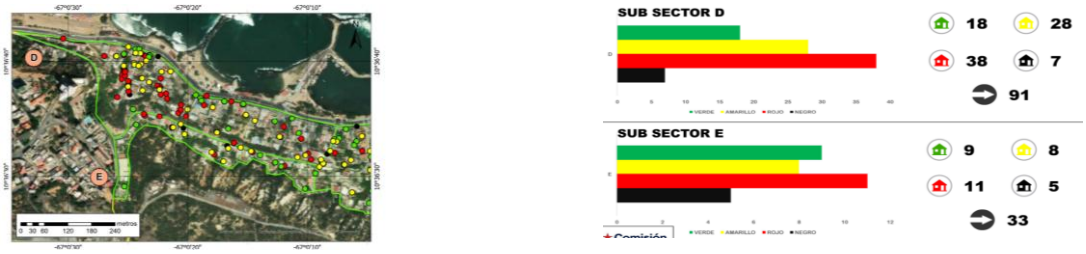


Figura 10.5. *Distribución de etiquetas del sub sectores D y E, Playa Verde. Imagen: L.C. Rivas.*

La evaluación post-sísmica del Sector Playa Verde demuestra que un 74,24 % de las viviendas populares sufrieron algún grado de daño estructural (Amarillo + Rojo + Negro), evidenciando la fragilidad del sistema constructivo y/o la severidad del movimiento sísmico.

11. EDIFICIOS OPPPE

Las edificaciones residenciales de la Oficina Presidencial de Planes y Proyectos Especiales (OPPPE) en el estado La Guaira, fueron construidas entre 2011 y 2013 (Figuras 11.1 y 11.2) e integran un conjunto de 9 complejos residenciales con 43 torres de 12 pisos (39 en Caraballeda y 4 en Catia La Mar). En términos de desempeño, este grupo de edificaciones experimentó severos daños estructurales que alcanzaron niveles críticos de afectación (Figura 11.3), registrando un total de 19 torres colapsadas (15 en Caraballeda y 4 en Catia La Mar entre fallas totales y parciales) detalladas en la Tabla 11.1.



Figura 11.1. *Tres torres, separadas por juntas de construcción. Junio de 2024, antes del terremoto. Foto: Google Maps*



Figura 11.2. *OPPPE 26. Junio de 2024, antes del terremoto. Foto: Google Maps*



Figura 11.3. *OPPPE 26. Junio de-2026, después del terremoto. Foto: Play Drone*

11.1. Sistema Estructural

El sistema estructural corresponde a pórticos de concreto reforzados resistentes a momento en ambas direcciones. Se identificaron dos tipologías estructurales principales: un modelo de torre doble, conformado por dos cuerpos unidos (sin junta) con un pasillo de circulación central, con una distribución de 4 ejes estructurales en una dirección y 8 ejes en la otra, y dos variantes de torre simple, constituidas por módulos independientes de un solo cuerpo, con 5 ejes en una dirección y 4 en la otra (Figuras 11.4 y 11.5). Los elementos portantes consisten en columnas rectangulares de 80 × 40 cm para la configuración de torre doble y de 80 × 50 cm para la torre simple, complementadas por vigas altas en ambas direcciones y losas nervadas en una dirección.

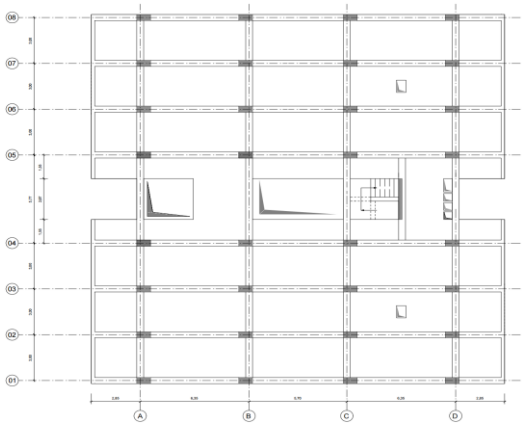


Figura 11.4. *Plano de configuración en planta del tipo de Torre Doble.*

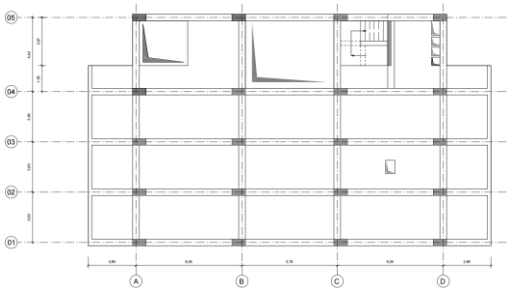


Figura 11.5. *Plano de configuración en planta del tipo de Torre Simple.*

11.2. Desempeño en La Guaira

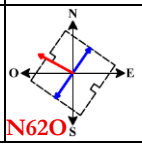
Del total de 43 torres, 16 tuvieron colapso total y 3 colapso parcial, ver Tabla 11.1. Es importante destacar que la totalidad de las torres colapsadas correspondió a la tipología de Torre Doble (16 colapsos de 32, 50%), mientras que la tipología Torre Simple no registró colapsos (0 colapsos de 11, 0%), evidenciando un comportamiento diferenciado entre ambas configuraciones estructurales, cuyas causas son parte de esta investigación. La dirección débil de la Torre se define por la dirección correspondiente a la dirección débil de las columnas. La dirección débil de cada torre colapsada se compara con la dirección y sentido del colapso en la Tabla 11.2. La doble flecha azul indica la dirección débil, mientras que la flecha roja indica la dirección y sentido del colapso. De las 16 torres colapsadas, en 14 de ellas la dirección de colapso coincide con la dirección débil de la edificación. En 10 torres el sentido predominante de colapso es Norte con componente Oeste, en 1 torre es en sentido Sur con componente Oeste, en 2 torre es en sentido Sur con componente Este y en 3 torres es en sentido Norte con componente Este.

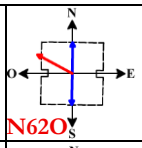
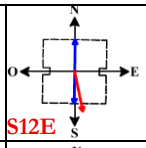
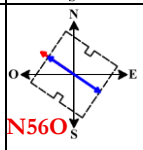
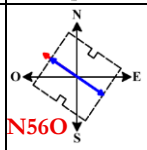
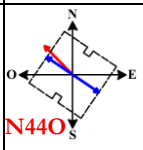
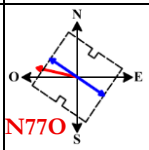
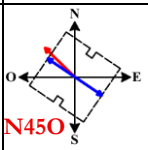
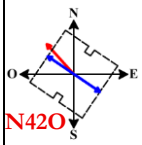
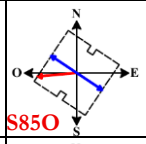
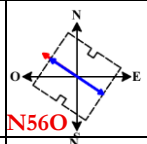
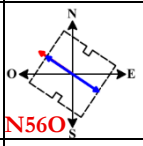
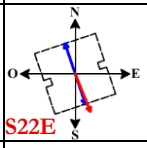
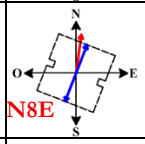
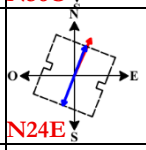
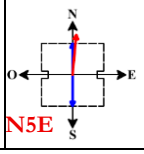
Tabla 11.1. *Clasificación y colapsos de las torres.*

Conjunto	Ubicación	Nº de Torres	Tipología	Nº de Colapsos
OPPPE 22	Caraballeda	4	Torre Doble	1
OPPPE 25	Caraballeda	7	Torre Doble	2
OPPPE 26	Caraballeda	6	Torre Doble	6
		6	Torre Simple	0
OPPPE 27	Caraballeda	4	Torre Doble	4
OPPPE 30	Caraballeda	2	Torre Doble	0
OPPPE 33	Caraballeda	2	Torre Doble	2
		1	Torre Simple	0
OPPPE 34	Caraballeda	2	Torre Doble	0
		1	Torre Simple	0
OPPPE 35	Caraballeda	1	Torre Doble	0
		3	Torre Simple	0
OPPPE 36	Catia La Mar	4	Torre Doble	1*
	Total =	43	Total =	16

* 1 torre con colapso total y 3 torres con colapso parcial.

Tabla 11.2. *Dirección débil y sentido de colapsos de las torres.*

CONJUNTO	ORIENTACIÓN **					
OPPPE 22 (1 colapso)						

OPPPE 25 (2 colapsos)						
OPPPE 26 (6 colapsos)						
OPPPE 27 (4 colapsos)						
OPPPE 33 (2 colapsos)						
OPPPE 36 (1 colapso total)						

**Flecha azul: dirección débil de la torre (menor sección de la columna). Flecha roja: sentido del colapso. Nomenclatura bajo cada figura: rumbo del colapso.

En las torres colapsadas se observó un mecanismo compatible con el denominado colapso progresivo por pérdida de capacidad en cadena (Figuras 11.6 y 11.7). Este patrón se caracteriza por la pérdida sucesiva de capacidad resistente en uno o varios niveles, seguida del descenso de las losas y del apilamiento de los pisos sobre los niveles inferiores. La configuración final de los escombros sugiere que, después de producirse fallas localizadas en elementos verticales y conexiones viga-columna, los niveles superiores perdieron su soporte y colapsaron de manera progresiva, generando una acumulación relativamente compacta de losas y elementos estructurales.



Figura 11.6. *Colapso en la OPPPE 26. Foto: L. Hernández*



Figura 11.7. *Colapso en la OPPPE 33. Foto: L. Hernández.*

El comportamiento observado también podría estar relacionado con fenómenos propios de la fuente sísmica y del sitio, como efectos de campo cercano (pulsos de larga duración) y la amplificación de la respuesta sísmica asociada a la profundidad de aproximadamente 400 metros de sedimentos en Caraballeda o a los efectos topográficos en Catia La Mar, que pueden incrementar las demandas de desplazamiento y generar concentraciones de esfuerzos en determinados niveles. El diseño sismorresistente de las edificaciones se realizó conforme a la norma COVENIN 1756:2001, considerando para el análisis que las torres se encuentran ubicadas en la zona sísmica 5, con un tipo de uso de la estructura B2, un nivel de diseño ND3, un tipo de suelo S3 y un factor de reducción de respuesta R = 6, parámetros que definieron las demandas sísmicas y los criterios empleados en la evaluación de su comportamiento estructural. De las observaciones de campo y de los planos, no se observan irregularidades verticales ni en planta. La torre doble a pesar de estar conformada conceptualmente por dos cuerpos, a nivel estructural se clasifica como un solo módulo. En el nivel de acceso, pese a tener aberturas para la entrada a la torre, la abundancia de paredes no sugiere la condición de entrepiso blando.

Las inspecciones de campo realizadas tanto en las torres que permanecieron en pie como en las colapsadas permitieron identificar deficiencias constructivas recurrentes y algunas

buenas prácticas conformes con la normativa vigente. Entre las deficiencias relevantes se observó que una proporción significativa de los estribos y ligaduras en columnas y vigas presentaban ganchos doblados a 90°, en lugar de los 135° exigidos por la norma (Figura 11.8).



Figura 11.8. *Separación adecuada de estribos en viga de la OPPPE 26, con deficiencia en el doblez de 90° de los ganchos. Foto: L. Hernández.*



Figura 11.9. *Falta de confinamiento adecuado del nodo de la OPPPE 27. Foto: L. Hernández.*

Asimismo, se evidenció una falta de confinamiento adecuado (deficiencia de ligaduras) en las zonas de nodos viga-columna (Figura 11.9). Adicionalmente, se detectaron anclajes deficientes en los extremos de las vigas, con barras longitudinales ubicadas por fuera del núcleo de la columna (Figura 11.10). Sin embargo, el espaciamiento de estribos y ligaduras a lo largo de los elementos resultó, en general, conforme con los requisitos normativos.

En cuanto a las paredes de mampostería, se identificó un patrón de daño variable en altura en las torres que permanecieron en pie. Los primeros seis pisos presentaron daños severos, con desprendimiento casi total de las paredes de bloques huecos de arcilla, debido a la ausencia de elementos de anclaje entre la mampostería y la estructura de concreto reforzado, dejando expuesto el pórtico de concreto reforzado (Figura 11.11). En los pisos superiores, las paredes se mantuvieron prácticamente intactas, aunque en varias zonas se evidenció el desprendimiento del friso, exponiendo los bloques de arcilla. Es importante considerar que, previo al desprendimiento total, la presencia de estas paredes pudo haber inducido concentraciones de esfuerzos de corte en las columnas adyacentes (efecto conocido como columna corta), agravando la demanda sísmica en la estructura. Una vez producido el desprendimiento total de las paredes, la pérdida abrupta de rigidez y resistencia lateral en los pisos inferiores, pudo haber generado entrepisos débiles que influyera en el colapso de las torres.



Figura 11.10. *Anclaje deficiente de barras de vigas en juntas. OPPPE 26. Foto: L. Hernández.*



Figura 11.11. *Derrumbe paredes de mampostería. OPPPE 26. Foto: L. Hernández.*

11.3. Desempeño en Caracas

En Caracas existen otros complejos de edificaciones OPPPE (con torres simples y dobles) que no registraron daños estructurales significativos durante el sismo. Este comportamiento diferenciado puede atribuirse principalmente a la mayor distancia de estas torres respecto a la zona de ruptura (falla) localizada en el estado La Guaira, lo que implicó una atenuación considerable de las demandas sísmicas. A ello podrían sumarse diferencias en las condiciones locales de sitio y en la calidad de la construcción.

11.4. Próximos pasos

Actualmente, la investigación continúa mediante el ensayo de muestras de los materiales empleados (extraídos en sitio), así como la simulación mediante modelos matemáticos lineales y no lineales, de la respuesta estructural ante el sismo. Estos análisis permitirán contrastar los daños observados en campo con el comportamiento esperado de las edificaciones y evaluar la posible influencia de factores como los efectos de campo cercano (pulsos de larga duración), el efecto del suelo y la interacción con elementos no estructurales.

12. EDIFICIOS DEL SISTEMA SUMMA DE ACERO LIGERO GALVANIZADO

Se presentan las observaciones de campo y los resultados preliminares del desempeño sísmico de las 193 edificaciones de cuatro niveles del sistema SUMMA, de perfiles ligeros de acero galvanizado, del urbanismo Hugo Chávez (Parroquia Urimare, Estado La Guaira). La evaluación comprendió inspección rápida, levantamiento detallado de una muestra representativa y registro fotográfico georreferenciado. Las edificaciones se agrupan en tres etapas con diferentes años de construcción: Etapa 1 (2012), Etapa 2 (2013) y Etapa 3 (2014). La Etapa 1 es el arreglo original, sin diagonales de arriostramiento en el plano de fachada de planta baja, solo en las paredes internas; en las Etapas 2 y 3 se incorporan esas diagonales en el plano de fachada. Se registraron las características constructivas de los anclajes a la losa de fundación, las conexiones de las diagonales y el estado de corrosión de los pernos de anclaje y de los elementos expuestos.

El daño se concentró en la planta baja de los edificios de 4 pisos y difiere entre etapas: el colapso de al menos un nivel alcanza 67 % en la Etapa 1, 13 % en la Etapa 2 y 36 % en la Etapa 3. Las cifras corresponden al registro levantado en campo tras el terremoto. La mayoría de las edificaciones dañadas fue demolida y permanecen en pie las preservadas para la investigación en curso.

12.1. El Sistema Constructivo y el Sitio

El Urbanismo Hugo Chávez, ubicado en la parroquia Urimare del estado La Guaira, ocupa una superficie reportada de 336.780 m². Comprende 193 edificios residenciales de cuatro niveles construidos con el sistema SUMMA y 12 edificaciones de uno y dos niveles destinadas a otros usos (Figura 12.1). El conjunto se emplaza sobre una meseta delimitada por taludes al sur y suroeste. Durante la inspección visual, las edificaciones educativas, religiosas y comunitarias, estructuradas con pórticos de concreto reforzado o acero, no presentaron colapso ni daños estructurales relevantes. El sistema resistente de los edificios residenciales está constituido por perfiles de acero ligero galvanizado conformados en frío: montantes, soleras, elementos horizontales y diagonales de arriostramiento. En la planta baja, el cerramiento exterior comprende una membrana hidrófuga instalada sobre el entramado metálico, una malla de metal desplegado nervado galvanizado (*rib lath*), fijada a los perfiles, y un revestimiento de mortero de cemento y arena. En los niveles superiores, el cerramiento está formado por tableros de virutas orientadas (OSB), una membrana hidrófuga exterior y revestimiento exterior de vinilo (*vinyl siding*). Cada edificio consta de dos módulos residenciales laterales, denominados alas, y un módulo central de escaleras. La cimentación consiste en una losa rigidizada perimetralmente mediante vigas de sección T invertida. La estructura metálica se fija a la fundación mediante anclajes de punta expansiva. El tamaño de las alas, la etapa constructiva y el número de ventanas por fachada definen seis tipologías de edificios, descritas en la Sección 12.2 a).

12.2. Observaciones de Campo

Se inspeccionaron las 193 edificaciones de cuatro niveles del conjunto y se levantó en detalle una muestra representativa, con la que se conformó una base de datos del estado de cada edificación. Los trabajos de campo los ejecutaron los autores con pasantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. La Figura 12.1 muestra las 193 edificaciones, cada una se identifica por una letra que ubica la fila de localización (desde la A hasta la M) y un número que identifica la columna de localización (desde el 1 hasta la 23).

a) Tipología de las edificaciones

Los seis tipos de edificación se reconocen desde el exterior por el tamaño del ala, la etapa constructiva y el número de ventanas por fachada, cuya posición condiciona la longitud de panel disponible para arriostrar el nivel inferior. La Tabla 12.1 y las Figuras 12.1 a 12.3 presentan los tipos, su ubicación en el urbanismo, ejemplos de fachadas y la distribución del daño.

Tabla 12.1. Tipos y estado de las 193 edificaciones, según modelo y etapa constructiva. Entre paréntesis, el porcentaje respecto del total del modelo; en las filas de subtotal, respecto del total de la etapa.

Modelo	Etapa	Ala	Ventanas Lat+Prin	SC Sin Colapso	CP Colapso 1 Nivel	OT Otros colapsos	Total	% del total
P1	Etapa 1	Pequeño	4 + 0	6 (42,9 %)	5 (35,7 %)	3 (21,4 %)	14	7,3 %
P2	Etapa 1	Pequeño	2 + 3	10 (21,7 %)	28 (60,9 %)	8 (17,4 %)	46	23,8 %
G3	Etapa 1	Grande	4 + 2	15 (45,5 %)	14 (42,4 %)	4 (12,1 %)	33	17,1 %
Subtotal Etapa 1				**31 (33,3 %)**	**47 (50,5 %)**	**15 (16,1 %)**	**93**	**48,2 %**
P4	Etapa 2	Pequeño	6 + 0	4 (100 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	4	2,1 %
P5	Etapa 2	Pequeño	4 + 3	21 (84,0 %)	1 (4,0 %)	3 (12,0 %)	25	13,0 %
G6	Etapa 2	Grande	6 + 2	21 (87,5 %)	0 (0 %)	3 (12,5 %)	24	12,4 %
Subtotal Etapa 2				**46 (86,8 %)**	**1 (1,9 %)**	**6 (11,3 %)**	**53**	**27,5 %**
P5	Etapa 3	Pequeño	4 + 3	18 (69,2 %)	3 (11,5 %)	5 (19,2 %)	26	13,5 %
G6	Etapa 3	Grande	6 + 2	12 (57,1 %)	0 (0 %)	9 (42,9 %)	21	10,9 %
Subtotal Etapa 3				**30 (63,8 %)**	**3 (6,4 %)**	**14 (29,8 %)**	**47**	**24,4 %**
TOTAL				**107 (55,4 %)**	**51 (26,4 %)**	**35 (18,1 %)**	**193**	**100 %**



Figura 12.1. *Urbanismo Hugo Chávez: ubicación de los seis tipos de edificación de cuatro niveles y de las doce edificaciones destinadas a otros usos, por etapa constructiva (Etapas 1, 2 y 3) y tamaño del ala (edificios grandes y pequeños).*

b) Distribución del daño por etapa constructiva

La Tabla 12.1 recoge el estado de las 193 edificaciones de habitación según el modelo y la etapa constructiva, en tres categorías: sin colapso (SC), colapso de un nivel (CP) y colapso de más de un nivel o incendio (OT), esta última incluye las edificaciones incendiadas tras el colapso. Este registro fue levantado en campo antes de la demolición de la mayoría de las edificaciones dañadas, y fue verificado edificación por edificación mediante inspección en sitio, imágenes satelitales de Google Earth (imagen del 26-06-2026, © Airbus) y videos aéreos con dron.

a) Edificio J6 (Etapa 1, modelo P1): ala pequeña, 4 ventanas por piso en fachada lateral y ninguna en la principal.



b) Edificio I5 (Etapa 1, modelo P2): ala pequeña, 2 ventanas por piso en fachada lateral y 3 en la principal.



c) Edificio J4 (Etapa 1, modelo G3): ala grande, 4 ventanas por piso en fachada lateral y 2 en la principal.



d) Edificio D12 (Etapa 2, modelo P4): ala pequeña, 6 ventanas por piso en fachada lateral y 0 en la principal.



e) Edificio G14 (Etapa 2, modelo P5): ala pequeña, 4 ventanas por piso en fachada lateral y 3 en la principal.



f) Edificio M23 (Etapa 3, modelo G6): ala grande, 6 ventanas por piso en fachada lateral y 2 en la principal.



Figura 12.2. *Ejemplos de fachadas observadas en campo.*



Figura 12.3. *Estado de daño de cada edificación, por etapa constructiva. Naranja : sin colapso (SC); morado : colapso de un nivel (CP); rojo : colapso de más de un nivel o incendio (OT).*

Sumando las columnas CP y OT de la Tabla 12.1, la proporción de edificaciones con colapso de al menos un nivel es de 66,7 % en la Etapa 1 (62 de 93), 13,2 % en la Etapa 2 (7 de 53) y 36,2 % en la Etapa 3 (17 de 47). En el total del conjunto, 107 edificaciones (55,4%) no presentaron colapso y 86 (44,6 %) presentan colapso de al menos un nivel.

Las tres etapas difieren en más de un aspecto. La Etapa 1 no tiene diagonales en el plano de fachada de la planta baja y las Etapas 2 y 3 sí las tienen; además, cada etapa ocupa un sector distinto del urbanismo y, por tanto, difiere en las condiciones del terreno y en la distancia a las zonas de falla de borde. La comparación entre etapas no permite aislar el efecto de cada factor: en las Etapas 2 y 3 también hubo colapsos, y en las edificaciones arriostradas que permanecieron en pie, se registró daño en los perfiles y en sus conexiones. La contribución de cada uno de estos factores al daño observado se analiza en la investigación en curso.

c) Diferencias constructivas entre etapas y patrón de daño

La Figura 12.4 compara las dos diferencias constructivas entre etapas: las diagonales de arriostramiento en el plano de fachada de la planta baja y la plancha de conexión que transmite el corte entre el panel de la fachada inferior y el superior.

a) Etapa 1: nivel de planta baja sin arriostramiento diagonal en el plano de fachada.



b) Etapas 2 y 3: arriostramiento diagonal vertical en el nivel de planta baja.



c) Etapa 1: sin plancha de conexión que transmite corte entre paneles de fachada inferior y superior, con desprendimiento de revestimiento y corrosión de elemento metálico expuesto.



d) Etapas 2 y 3: con plancha de conexión que transmite corte entre el panel de fachada inferior y superior.



Figura 12.4. *Diferencias constructivas entre las etapas:*

El daño observado en las edificaciones se resume en la Figura 12.5. La deformación lateral se concentró en la planta baja, con distorsiones menores en los niveles superiores. En las que colapsaron, el colapso afectó la planta baja y los niveles superiores quedaron en pie; en algunos casos alcanzó el segundo o el tercer nivel y dos edificaciones de la Etapa 3 colapsaron por completo tras el incendio que siguió al colapso de la planta baja. Donde quedó deriva permanente, esta se concentró en la planta baja y los niveles superiores se inclinaron en bloque (Figura 12.5b). En las que no colapsaron, el daño se localizó de forma recurrente en la viga intermedia de entrepiso y en los perfiles, sus conexiones y los anclajes a la fundación, que se detallan en la Sección 12.2 d).

a) Colapso del nivel de planta baja con los niveles superiores en pie (edificación I3, Etapa 1).

b) Deriva permanente en la planta baja, con niveles superiores inclinados en bloque (edificación M21, Etapa 3).

c) Viga intermedia de entrepiso, perfil horizontal entre paneles de nivel inferior y el superior, pandeada y con nivel superior desencajado, retenido por plancha de conexión entre paneles de fachada.







d) Desprendimiento de la fijación de un panel de recubrimiento.

e) Daño del revestimiento en panel de planta baja, con patrón compatible con torsión en planta.

f) Dos edificaciones de la Etapa 3: colapsó la planta baja y el incendio posterior destruyó el resto de la edificación.







Figura 12.5. *Daño observado en las edificaciones de cuatro niveles.*

d) Daño en elementos, conexiones y anclajes

La Figura 12.6 reúne las observaciones registradas en el levantamiento detallado de las edificaciones que permanecían en pie: el daño en diagonales, montantes y sus uniones, el estado de los pernos de anclaje a la fundación, el comportamiento del revestimiento, y los detalles constructivos observados en los niveles superiores.

a) Pandeo de un elemento diagonal y doblez de montantes en la planta baja.

b) Falla de corte del elemento diagonal y rotura en su unión con la junta.

c) Corrosión de pernos de anclaje y distancia al borde entre 3,5 y 6,0 cm.







d) Fijación de perno de anclaje a la fundación (Etapa 1).

e) Perno de anclaje desplazado de su punto de anclaje.

f) Perno de anclaje con falla del cono de arrancamiento.







h) Plancha de conexión atornillada en el encuentro de diagonal, montante y solera (edificación F11).

g) Cerramiento exterior de los niveles superiores: revestimiento exterior de vinilo sobre OSB con membrana hidrófuga.

i) Conexión tipo hold-down entre niveles para transmitir las fuerzas de tracción asociadas al volcamiento de los paneles.



Figura 12.6. Observaciones de campo en las edificaciones de cuatro niveles: daño en elementos y conexiones, anclajes a la fundación, revestimiento y detalles constructivos.

e) Edificaciones sin daño observado

Entre las doce edificaciones destinadas a otros usos, las construidas de un nivel con el sistema SUMMA no presentaron daños en la inspección de campo. La Figura 12.7 muestra, a modo de ejemplo, dos de ellas.

a) Ambulatorio Sabaneta de Barinas, edificación de un nivel.

b) CEI Manuelita Sáenz, edificación de un nivel.

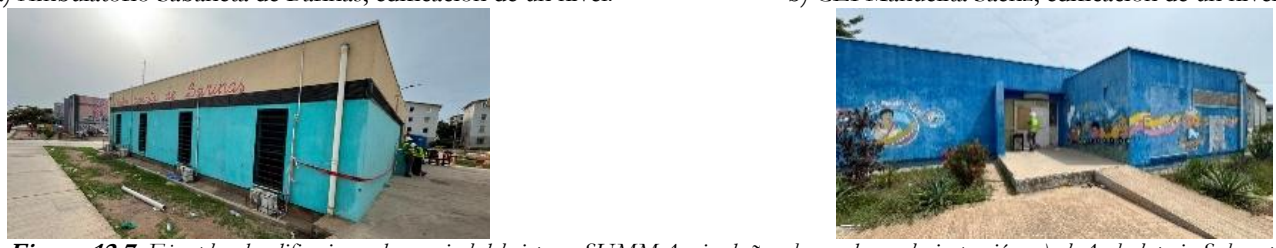


Figura 12.7. *Ejemplos de edificaciones de un nivel del sistema SUMMA, sin daños observados en la inspección: a) el Ambulatorio Sabaneta de Barinas y b) el CEI Manuelita Sáenz.*

f) Condiciones del sitio

Los valores N de cinco sondeos SPT (FUNDALANAVIAL, 2026), que alcanzaron rechazo entre 2 y 5 m de profundidad y la geología del sector muy litificado, como lo evidencia la existencia de sus taludes. no indican potencial de licuación. En el borde del talud se observó desprendimiento lateral del suelo, con grietas abiertas en la corona, sin falla generalizada ni superficie continua hacia el pie (Figura 12.8). La curva H/V es aproximadamente plana, porque no hay un contraste de impedancia marcado; por ello no define una frecuencia fundamental ni descarta amplificación; y el análisis del sector requiere una caracterización dinámica profunda.



Figura 12.8. *Desprendimiento lateral del suelo en el borde del talud, con grietas abiertas en la corona.*

12.3. Investigación en Curso y Pasos Futuros

Están en ejecución la consolidación de la base de datos de las 193 edificaciones y la caracterización sísmica del sitio. Sobre las edificaciones preservadas se prevén mediciones del desplome remanente, ensayos de elementos y de paneles completos, y destape de conexiones y anclajes para evaluar la contribución de cada factor al daño observado. Por otro lado, se desarrollan estudios a fin de estimar las características del movimiento vibratorio ocurrido, incorporando los efectos de pulsos asociados a la ruptura tectónica y los efectos topográficos asociados a la geometría de la zona. Luego se harán los análisis no lineales de respuesta a fin de conocer las razones del desempeño observado.

13. DAÑOS EN EDIFICACIONES EDUCATIVAS

El terremoto ocasionó el derrumbe completo de varios edificios educativos, además de una cantidad elevada con daños severos y moderados. Afortunadamente ocurrieron en un día sin actividad docente (fiesta nacional). Si el terremoto hubiera sucedido con una diferencia de pocas horas antes o después de esa fecha, posiblemente se hubiese presentado el fallecimiento de una cantidad significativa de integrantes de las comunidades educativas, lo cual podría representar una tragedia mayor al terremoto de Cariaco - Estado Sucre del año 1997.

Se inspeccionó un total de 2.205 planteles, cuyos resultados se muestran en la Figura 13.1, 171 tienen Etiqueta Roja y 467 Etiqueta Amarilla. Se detectaron 9 con colapso total o parcial. La Figura 13.2 muestra la distribución de estos 2.205 planteles por entidad federal; el mayor número de Etiquetas Rojas corresponde al Distrito Capital con 76 seguido por el estado La Guaira con 56 y el estado Miranda con 35. El número de colapsos (parcial o total) se concentra en La Guaira con 7, seguido por el Distrito Capital y el estado Carabobo con 1 cada uno.

En la Tabla 13.1 se presenta la lista preliminar de 13 edificios educativos (públicos y privados) derrumbados completos o con daño estructural permanente. La información proviene de visitas de campo, de la Plataforma HABITABLE e investigación personal en las redes sociales.

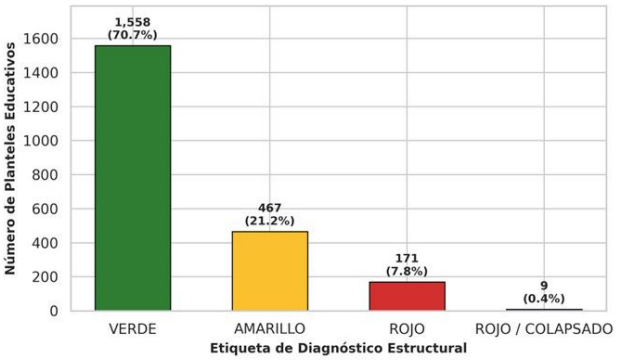


Figura 13.1. *Distribución nacional de Etiquetas en edificaciones educativas.*

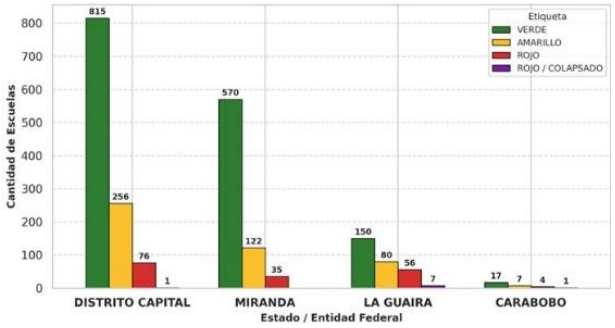


Figura 13.2 *Distribución por entidad federal de Etiquetas en edificaciones educativas.*

Tabla 13.1*. Lista de 13planteles derrumbados o con daño estructural permanente.*

	Entidad Federal	Ciudad o Centro Poblado	Nombre del Plantel
1	Distrito Capital	La Pastora - Caracas	Colegio Agustiniano San Judas Tadeo.
2	Distrito Capital	El Junquito - Caracas	Unidad Educativa Privada Colegio Iberoamericano
3	La Guaira	Macuto	Liceo Bolivariano José María España
4	La Guaira	Carayaca	Escuela Básica Rafael Rangel
5	La Guaira	Playa Grande	Unidad Educativa Privada José Atanasio Girardot
6	La Guaira	Catia La Mar	Unidad Educativa Privada Colegio San José
7	La Guaira	Avda. Soublette, Pariata	Unidad Educativa José María Vargas
8	La Guaira	Sector Mare Abajo	Unidad Educativa Nacional Cruz Felipe Iriarte
9	Carabobo	Morón, Pto. Cabello	Escuela Básica Pedro Jesús García
10	La Guaira	La Guaira	Colegio José Atanacio Girardot
11	La Guaira	Catia La Mar	U.E.P Gabriela Mistral
12	La Guaira	Catia La Mar	INCES Catia La Mar
13	La Guaira	Urimare	I.E.E. Urimare

Con el objetivo de estimar la población estudiantil que pudiera haber sido afectada con la pérdida de estos 13 edificios, se considera un plantel educativo con una sección por año (1º a 6º grado), con 38 estudiantes por sección (aula), lo cual da como resultado 38 x 6 aulas = 228 estudiantes x 13 edificios derrumbados = 2.964 estudiantes afectados, como mínimo.

A continuación, se muestran 4 ejemplos representativos que muestran los niveles de daños y destrucción de las edificaciones educativas:

13.1. Liceo Bolivariano "José María España"

Las fotografías de la Figura 13.3 muestran el Liceo ubicado en la Avda. España, Macuto, Estado La Guaira. La fachada lateral Este (previa a los sismos) se muestra en la Figura 13.3.a,

el edificio original era prefabricado de concreto reforzado, de planta regular y rectangular, de 3 niveles estructurales y conformado por un volumen único. En la Figura 13.3.b se observa la destrucción completa de todos los elementos estructurales y la caída de losas sobre losas superpuestas.

13.2. Unidad Educativa "José María Vargas"

Este edificio ubicado en la Avda. Soublette, Pariata, Estado La Guaira (Figura 13.4), estaba conformado por varios volúmenes, su configuración geométrica en planta es similar a la letra H. En la Figura 13.4.a hay una vista de la fachada principal sur del edificio educativo y se observa el derrumbe parcial de un volumen del del edificio. En 13.4.b se observa el derrumbe completo de otro de los volúmenes que conforman el conjunto educativo de 3 niveles estructurales, el cual estaba separado del edificio anexo por medio de una junta de construcción. Este edificio presentaba vigas altas solo en el sentido transversal. Se aprecia la deformación permanente que presenta otro edificio, ocasionada por la destrucción de las líneas resistentes en los nodos. En la Figura 13.4.c se observa la destrucción del núcleo de concreto, la reducción de la longitud de la altura de la columna y la deformación permanente de las barras de acero, las losas de entrepiso y de techo. Este edificio finalmente será demolido.

13.3. Unidad Educativa "Evelia Avilán de Pimentel"

En la Figura 13.5 se muestran imágenes de esta edificación localizada en la Avenida Soublette, La Guaira**.** La figura 13.5.a presenta una vista parcial de la fachada posterior del edificio. La figura 13.5.b muestra la destrucción y volcamiento de los cerramientos internos de bloques de arcilla con friso por ambas caras, en las aulas de clases y además la caída de la pizarra acrílica sobre los conjuntos de mesas y sillas que utilizan a diario los estudiantes, por deficiencias en la fijación a la estructura. Este edificio será reparado.

13.4. Unidad Educativa Privada Patronato "San José de Tarbes"

Este conjunto está ubicado en la Avda. Este 2 de la Parroquia Candelaria, Distrito Capital, está conformado por varios volúmenes con planta rectangular, ubicados en torno a dos patios internos descubiertos, esquema de planta similar al número 8. La figura 13.6.a muestra la fachada principal Norte del edificio. Al ocurrir los terremotos se produjeron daños severos en los muros de ladrillos macizos y la caída parcial de la cubierta de techos a dos aguas, en el 2do nivel. La figura 13.6.b se observa un detalle de los muros de ladrillos macizos de arcilla y el desplazamiento parcial lateral con respecto al plano de la fachada, del segmento superior que presenta una fractura. Se requiere realizar una evaluación detallada especializada para determinar las acciones a tomar en este caso (Edifico Patrimonial e Histórico).

a) Imagen del edificio original.



b) Vista de los escombros del edificio.



Figura 13.3 *Liceo Bolivariano "José María España", Macuto. Fotografía: Ch. J. Valencillos. Fotografía 13.1.b R. González.*

a) Fachada Principal.



b) Edificio derrumbado y otro con daño severo.



c) Daño completo en columna.



Figura 13.4 *Unidad Educativa "José María Vargas", Pariata, Estado La Guaira. Foto R. González.*

a) Fachada posterior.



b) Vista interna aula de clases.



Figura 13.5 *Unidad Educativa "Evelia Avilán de Pimentel", La Guaira. Foto R. González.*

a) Fachada Principal.



b) Daño severo en fachada principal.



Figura 13.6 *Unidad Educativa Patronato "San José de Tarbes", Distrito Capital. Foto R. González.*

14. EDIFICACIONES PATRIMONIALES E HISTÓRICAS

De la información del registro del Instituto de Patrimonio Cultural (IPC, 2026; AVEC, 2026 y Balza, 2026) se listan preliminarmente 55 edificaciones patrimoniales e históricas con daños ocasionados por el terremoto, localizadas en el Distrito Capital y en los Estados Aragua, Carabobo, Falcón, La Guaira y Miranda. Se muestra en la Tabla 14.1 la cantidad de edificios que registraron daños en las Iglesias Católicas y en otros Edificios Emblemáticos.

Tabla 14.1. *Resumen de edificaciones con algún nivel de daño por Entidad Federal.*

Entidad Federal	Iglesias Católicas	Edificios Emblemáticos	Sub Total (2)
Distrito Capital	20	19	39
Aragua	4	0	4
Carabobo	1	0	1
Falcón	0	1	1
La Guaira	1	4	5
Miranda	4	1	5
Sub Total (1)	**30 (54,5%)**	**25 (45,5%)**	**55 (100%)**
TOTAL			

A continuación, se muestran cuatro (4) ejemplos representativos de edificaciones afectadas por los sismos:

14.1. La Catedral de Caracas

Localizada en la Avda. Norte 0 en Caracas conserva su ubicación en la misma parcela desde 1567 y fue afectada históricamente por los sismos de 1641, 1766, 1812, 1900 y 1967. A la fecha sufrió daños importantes: grietas profundas en la torre y campanario, y daños severos en los arcos superiores que sostienen la cubierta de techos, como muestran la Figura 14.1 (a, b y c).

14.2. La Escuela de Música "Pablo Castellanos"

Situada en la Avda. Intercomunal de Macuto, La Guaira, construida en 1885 era la residencia vacacional del presidente Joaquín Crespo y conocida como "La Crespera". Presentó una grieta vertical de toda la fachada sur, que continúa en diagonal hacia una ventana. En la fachada norte hubo desprendimientos de paredes y daños extensos en la cubierta de techos de madera, visibles en la Figura 14.2 (a, b y c).

14.3. La Iglesia de San José de Ñarauli

Localizada en la Avda. Este 11 de la Parroquia San José (Caracas) sufrió grietas profundas en columnas y elementos decorativos de la torre. En la nave lateral izquierda colapsó completamente la cubierta de techos, conformada por vigas, correas y tableros de madera Figura 14.3 (a, b y c).

14.4. El Palacio de las Academias

Ubicado en la Avda. Universidad, Caracas, luego de su construcción funcionó originalmente como antiguo convento franciscano. Fue remodelado por el gobierno de Antonio Guzmán Blanco, y se transformó en la sede de la UCV durante el periodo de 1872 hasta 1952. Presentó grietas y fisuras en muros internos y externos con desprendimientos de frisos en la fachada, se observó el derrumbe parcial de la torre por la caída de una basa de gran peso, que dañó el techo del área de archivo de la Academia de la Historia y fue retirada utilizando una grúa telescópica, ya que representaba una amenaza, como se observa en la Figura 14.4 (a hasta la f).

a) Fachada Principal



b) Daños en la torre del reloj y campanario



c) Daños en los arcos y bóvedas



Figura 14.1 *Catedral de Caracas, Distrito Capital. Fotos: R. González.*

a) Fachada Principal



b) Fachada posterior



c) Detalle de la fachada principal



Figura 14.2 *Escuela de Música "Pablo Castellanos", Macuto, Estado La Guaira. Fotos: R. González.*

a) Fachada Principal.



b) Daños en la torre del campanario.



c) Derrumbe de cubierta de techos.



Figura 14.3 *Iglesia de San José de Ñarauli, San José, Caracas, Distrito Capital. Fotos: R. González.*

a) Fachada Principal.



b) Daños en la fachada.



c) Daños en la torre.



d) Elemento caído.



e) Daños en el techo.



f) Retiro de basa.



Figura 14.4 *Palacio de las Academias, Caracas, Distrito Capital. Fotos a, b, c: R. González, Fotos d y f: J. Ochoa, Foto e: Marianela Lafuente.*

15. CENTROS DE SALUD Y AEROPUERTO DE MAIQUETÍA

15.1. Daños en Hospitales y Centros de Salud

Se realizaron inspecciones a edificaciones médico-asistenciales en todo el país a solicitud del Ministerio de Salud. Se inspeccionaron 433 edificaciones en 6 estados, dando como resultado 3 colapsos (0,69%), 34 rojos (7,85%), 71 amarillos (16,40%) y 328 verdes (16,40%). Los resultados se presentan con más detalles en la Figura 15.1 y 15.2, así como en la tabla 15.1.

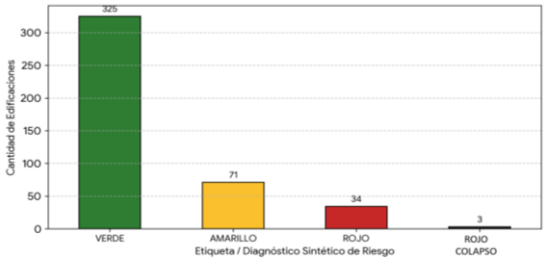


Figura 15.1 *Distribución de Etiquetas en las 433 edificaciones hospitalarias inspeccionadas.*

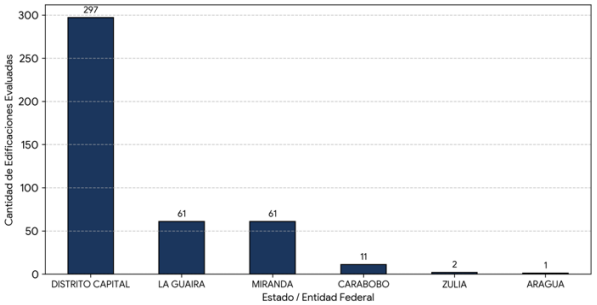


Figura 15.2 *Distribución por entidad federal de las 433 edificaciones hospitalarias inspeccionadas.*

Se inspeccionaron algunos de los centros de salud que colapsaron, entre ellos el Hospital Risquez en Caracas donde colapsó uno de sus módulos (Figura 15.3), el Centro de Atención Psicofamiliar El Niño y el Mar en Catia La Mar (Figura 15.4) y la Unidad de Rehabilitación Médica Integral en Caraballeda (Figura 15.5).

Tabla 15.1*. Distribución de Etiquetas según evaluación estructural.*

Estado/ Entidad	VERDE	AMARILLO	ROJO	ROJO/ COLAPSO	Total
Aragua	1	0	0	0	1
Carabobo	9	1	1	0	11
Distrito Capital	231	49	15	1	297
La Guaira	27	18	15	2	61
Miranda	55	3	3	0	61
Zulia	2	0	0	0	2
TOTAL	**325 (75,1%)**	**71 (16,40%)**	**34 (7,85%)**	**3 (0,69%)**	**433**

a) Fachada principal Oeste. b) Pasillo central de circulación en el nivel 3. c) Fachada posterior Este.



Figura 15.3 *Hospital Francisco A. Risquez. Fotos: R. González.*

a. Vista frontal b. Vista lateral



Figura 15.4 *Centro de atención El Niño y el Mar. Fotos: R González.*

a. vista lateral



b. vista frontal



c. detalle de colapso

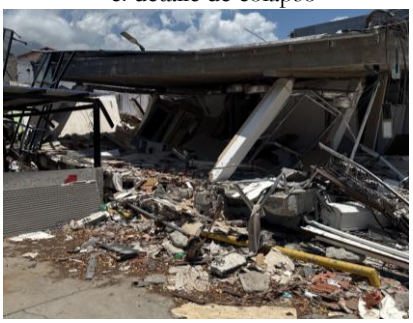


Figura 15.5 *Unidad de rehabilitación médica integral. Fotos: E. Contreras y A. Idress.*

a) Hospital Francisco A. Risquez

Ubicado en la Calle Cotiza, sector Cotiza al final de la Avda. Fuerzas Armadas (Norte) es un edificio de planta rectangular, con pórticos de concreto reforzado, conformado por 3 volúmenes independientes y 1 edificio adicional de estacionamientos, de 5 niveles superiores y 1 sótano, separados entre sí por medio de una junta de construcción. En la figura 15.3.a se muestra la fachada principal (oeste) en donde se aprecia el colapso del nivel inferior del módulo que está a la derecha. En la figura 15.3.b se aprecia una vista interna del edificio, esta imagen fue tomada desde el piso 3, se observa al fondo el desnivel del pasillo de circulación y la destrucción de los espacios correspondientes al piso 4. En la figura 15.3.c se observa la fachada Este y las diferencias de nivel de los elementos horizontales de protección solar ocasionados por el derrumbe completo y destrucción del nivel del Planta Baja del edificio colapsado.

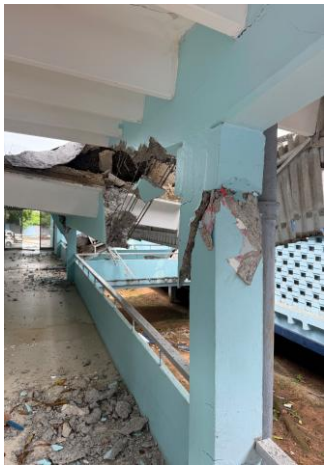
b) Centro de Atención Psicofamiliar "El Niño y El Mar"

Ubicado en Colinas de Catia La Mar, el edificio original fue inaugurado en el año 1940 y durante años tuvo un proceso de transformación de todos sus espacios. Atendía a niños, adolescentes y adultos con condiciones neurológicas, motoras y patologías cerebrales severas o profundas. Además, prestaba servicios a la comunidad y principalmente a los niños en el área de psicología, psiquiatría, odontología, fisiatría, pediatría, terapia de lenguaje, unidad de atención integral en autismo (Minsaludlaguaira_ve, 2026). En esta edificación se produjo el lamentable fallecimiento de 16 niños y 3 profesionales del equipo (1 médico, 1 enfermera y camillero) (Diario La Verdad, 2026). Sus servicios médicos temporalmente se prestan en el Hospital Martín Vegas de Catia La Mar.

Se conoció que se planifica la construcción de un nuevo edificio para atender a la población infantil del Estado La Guaira (Minsalud, 2026). La Figura 15.4.a muestra el espacio de acceso y permite ver la destrucción completa del edificio. En la Figura 15.4.b se observa el derrumbe desde el lado Nor-oeste. En la Figura 15.4.c se observa el derrumbe de al menos dos (2) niveles estructurales desde el Nor-este.

De igual forma se inspeccionaron edificaciones que aún sin colapso presentaron daños severos en sus elementos estructurales como el Hospital Adolfo Prince Lara de Puerto Cabello Estado Carabobo (Figura 15.6).

a. Entrada.



b. Detalle de daño en columna en la entrada.



c. Detalle de daño en columna de soporte de base.



d. Detalle de daño en columna de soporte de base.



e. Detalle de daño en columna de soporte de base.



f. Detalle de daño en columna de soporte de base.

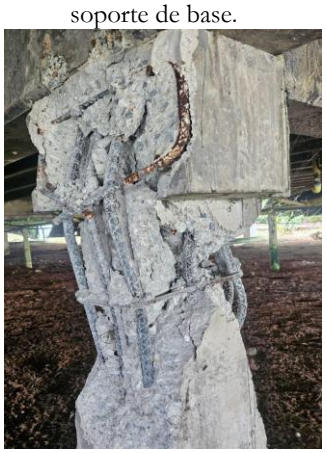


Figura 15.6 *Hospital Adolfo Prince Lara. Fotos: En HABITABLE.*

Tabla 15.2 *Lista de Hospitales de Campaña instalados en varios lugares del país.*

N°	Entidad Federal	Nombre del Hospital /Ubicación	País Promotor
1	Distrito Capital	Hospital "Colombia". Unidad Educativa Gran Colombia, Prado de María, Caracas	Embajada de Colombia
2	Distrito Capital	Hospital de la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Parque Francisco de Miranda, Caracas	Embajada de España
3	La Guaira	Hospital de "Catar". UNES, Avda. Sucre, Caracas	Embajada de Catar
4	La Guaira	Hospital "Simón Bolívar". Caraballeda	Organización de las Naciones Unidas
5	La Guaira	"Samaritus Purse", Polideportivo Avda. Soublette, La Guaira	ONG – Estados Unidos
6	La Guaira	Hospital "Cruz Roja" Estadio Jorge L García Carneiro	Cruz Roja de Venezuela, Federación Internacional Cruz Roja
7	La Guaira	Hospital "El Salvador" Escuela Carlos Escarrá, Playa Grande	Embajada de El Salvador
8	La Guaira	Hospital de "Japón" Caraballeda	Embajada de Japón
9	La Guaira	Hospital "Brasil". El Playón - Camurí Chico	Embajada de Brasil
10	La Guaira	Hospital de "República Dominicana" Estadio Cesar Nieves, Catia La Mar	Embajada de Republica Dominicana
11	La Guaira	Hospital San José. La Guaira	Estado del Vaticano
12	La Guaira	Hospital "Reino Unido". Pista de Karting. La Guaira	Embajada del Reino Unido
13	La Guaira	Hospital ONU. Estadio de Playa Grande	Organización Naciones Unidas /
14	Miranda	Hospital "Barbados". ETI R. González, Guarenas	Embajada de Barbados

El día 24 de junio 2026, en horas de la noche las Autoridades Nacionales, presentaron el agradecimiento público por el ofrecimiento del envío al país, de asistencia médica y grupos de rescate de los Estados Unidos, República Dominicana, El Salvador, México, Catar, China, Brasil, entre otros y se declaró al Estado La Guaira como Zona de Desastre. Las dimensiones de la situación de emergencia habían sobrepasado por completo la capacidad de atención de personas heridas o lesionadas en los hospitales y centros de salud de las ciudades afectadas. En el Estado La Guaira, en las primeras horas se atendió a los pacientes, heridos y lesionados al aire libre en las áreas de los estacionamientos de estos edificios. Como señal de respuesta ante la situación en Venezuela, a las pocas horas se inició la recepción de las misiones de rescate y la instalación de Hospitales de Campaña, para la atención de la población afectada, además de los grupos de rescate y voluntarios que presentaron lesiones durante sus actividades en la recuperación de personas atrapadas en los edificios caídos. En este sentido se muestra la Tabla 15.2 que presenta los 14 Hospitales de Campaña instalados, su ubicación y el país promotor (Caraota Digital, 2026)

En vista de la difícil situación y destrucción que se vivía en el Estado La Guaira, vale la pena destacar la iniciativa tomada por un amplio grupo de médicos que se trasladó a colaborar en forma voluntaria con la población. En este sentido se conoció la ocupación autorizada del único edificio estable, seguro y sin daños estructurales, ubicado en la avenida José María España

de Caraballeda. Este edificio era un local comercial de tres niveles estructurales y pertenecía a la empresa Arcos Dorados, había sido "saqueado para retirar los alimentos". Su uso fue autorizado de inmediato por la franquicia en el país y la casa matriz en los Estado Unidos. A los pocos días fue conocido temporalmente como el Hospital "McDonald´s", ubicado en la avenida José María España de Caraballeda. Fue transformado y habilitado como Puesto de Emergencias Médicas (medicina general, odontología, veterinaria) y atendió una cifra superior a 7.000 pacientes (CNN en español, 2026).

Es importante destacar que se contó con la participación activa de grupos altamente especializados con la denominación USAR (Búsqueda y Rescate Urbano) en las labores de ubicación, rescate y atención de primeros auxilios, de las personas atrapadas dentro de los escombros de los edificios derrumbados (rescate en espacios confinados). En este sentido se estima la asistencia de una cifra aproximada de 3.600 personas extranjeras, con la participación de Grupos de Rescate Internacionales de: Alemania, Chile, Costa Rica, Ecuador, España, Estados Unidos, Italia, República Dominicana, México, Portugal, Suiza. Adicional participaron en estos trabajos los grupos de Protección Civil y de Rescate de todas las entidades federales de Venezuela.

15.2. Aeropuerto de Maiquetía

El Aeropuerto Internacional Simón Bolívar de Maiquetía sufrió daños estructurales severos. En el terminal internacional, se reportó la caída de grandes vigas de concreto y paneles metálicos en los pasillos y en la zona de reclamo de equipaje (Figuras 15.7 y 15.8). Las cintas transportadoras de equipaje quedaron cubiertas de escombros. Los sistemas de ventilación, paredes internas y áreas de circulación sufrieron destrucción considerable. Se reportaron grietas profundas en las pistas de aterrizaje del aeropuerto (Figura 15.9). En el hotel del aeropuerto también se reportaron daños, principalmente en las paredes (Figura 15.10). Las instalaciones originales de los terminales nacional e internacional permanecen cerradas hasta el momento. El aeropuerto reinició operaciones comerciales parciales el 1 de septiembre de 2026 con instalaciones provisionales en las áreas del estacionamiento y con una capacidad de servicio reducida hasta que finalice la reconstrucción de las pistas y terminales.



Figura 15.7*. Daños en el terminal de pasajeros del aeropuerto. El Universal (2026).*



Figura 15.8. *Daños en viga del terminal internacional del aeropuerto Foto: L. Hernández.*

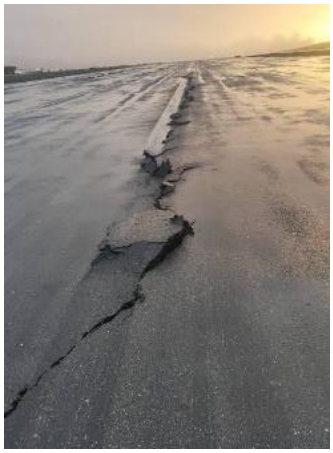


Figura 15.9. *Grietas en la pista norte del aeropuerto Simón Bolívar. Esta fractura es pseudo paralela y próxima a la falla de las Bruscas (GEER, 2026).*



Figura 15.10. *Daños en el hotel del aeropuerto.Fotos: M. Lafuente.*

16. LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE EDIFICACIONES: DE LA EMERGENCIA A LA RECUPERACIÓN

Tras los terremotos del 24 de junio se elaboraron lineamientos técnicos de emergencia destinados a apoyar la toma de decisiones en la reparación de edificaciones afectadas. Los lineamientos técnicos no sustituyen la evaluación estructural específica de cada edificación, sino que proporcionan un marco común para organizar las intervenciones y definir cuándo una reparación local resulta técnicamente procedente y cuándo se requiere una evaluación más exhaustiva, reforzamiento o demolición. La serie de lineamientos técnicos está estructurada en cuatro ámbitos complementarios: (1) Apuntalamiento de emergencia de columnas, vigas y losas dañadas; (2) Evaluación, reparación y restitución de paredes de mampostería; (3) Evaluación y reparación de elementos de concreto reforzado con daño leve y moderado; y (4) Consideraciones básicas para la actuación en elementos con daño severo. Esta organización permite diferenciar claramente entre medidas provisionales de seguridad, reparaciones destinadas a restituir la condición original y situaciones que exceden el alcance de una reparación simple y requieren un proyecto específico de rehabilitación o reforzamiento. En la Figura 16.1 se observan las portadas de los cuatro documentos generados.

Un principio transversal de los documentos es que reparar un elemento no equivale a adecuar sísmicamente una edificación. En particular, para los casos de daño severo se establece que la intervención debe partir del diagnóstico del mecanismo de falla, de la verificación de la estabilidad y de una evaluación estructural específica, reconociendo que algunas edificaciones pueden presentar vulnerabilidades preexistentes asociadas a su antigüedad, configuración, diseño, ejecución o detallado. En conjunto, estos lineamientos constituyen una respuesta técnica organizada frente a la necesidad inmediata de reducir el riesgo durante la emergencia, uniformar criterios de intervención y establecer bases verificables para la recuperación segura del parque edificado afectado por el terremoto de 2026.



Figura 16.1*. Lineamientos Técnicos generados por el Comité Asesor.*

16.1. Apuntalamiento de columnas, vigas y losas de concreto reforzado afectadas por sismo

El lineamiento de apuntalamiento (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-d), define criterios para seleccionar, ejecutar, colocar e inspeccionar sistemas provisionales de emergencia en edificaciones de concreto reforzado con daño en columnas, vigas y losas (Figura 16.2). Este documento establece que el apuntalamiento no constituye reparación, reforzamiento, rehabilitación, ni habilita la ocupación de una edificación dañada. La intervención debe partir de una evaluación específica realizada por un ingeniero estructural o especialista del equipo de emergencia, capaz de identificar el mecanismo de daño, la presencia de masas o elementos potencialmente inestables, la inclinación de pisos, los desplomes y el soporte sobre el cual descargarán los puntales. El documento excluye, entre otros casos, las estructuras total o parcialmente colapsadas con víctimas atrapadas y las edificaciones cuyo daño dominante sea de origen geotécnico, para las cuales se requieren procedimientos especializados.

La clasificación del daño se vincula directamente con la necesidad y urgencia del apuntalamiento. Las fisuras finas y las grietas claramente visibles de menor abertura se asocian con vigilancia, mientras que las grietas locales, el desprendimiento de recubrimiento, el aplastamiento del concreto, la exposición del refuerzo, el pandeo de barras, la trituración del núcleo o el acortamiento visible requieren niveles crecientes de estabilización. El procedimiento exige retirar revestimientos sueltos en las zonas por clasificar, medir el ancho de grieta, verificar la verticalidad y restringir el acceso cuando existan signos de pérdida de estabilidad. Además de la pérdida de capacidad vertical, el documento reconoce como movimientos que deben controlarse el descenso de losas y vigas, el volcamiento fuera del plano de muros y fachadas, el desplazamiento entre elementos enfrentados y la distorsión de huecos de acceso. En la Figura 16.2 se muestra el apuntalamiento según el tipo de daño.

La extensión del apuntalamiento se fundamenta en el área tributaria y en la continuidad de las líneas resistentes. Para una columna dañada, los puntales se disponen dentro de su área

tributaria y, cuando corresponde, se reproducen verticalmente en los niveles superiores, manteniendo su alineación. Si existen varios elementos afectados y sus áreas tributarias son contiguas o se solapan, se apuntala la envolvente resultante para evitar franjas de losa sin sostenimiento. Como criterio global, si el número de líneas resistentes afectadas en una dirección supera el 25% del total de líneas resistentes de esa dirección, el lineamiento prescribe apuntalar la planta completa. Este criterio evita que la estabilización se limite a un daño local cuando la pérdida de capacidad alcanza una fracción significativa del sistema resistente lateral.

Otro aspecto importante es que se expone un criterio de la carga de diseño, la cual se estima a partir de la carga por unidad de superficie multiplicada por el área tributaria, adicionando las cargas concentradas identificadas y una previsión mínima para personal y escombros ligeros. El número mínimo de puntales se obtiene con base en la capacidad de diseño del sistema, manteniendo un factor de seguridad mínimo de 2,0. La transferencia de carga debe realizarse como apeo neutro, es decir, sosteniendo sin levantar la estructura; por ello se prescribe una precarga ligera mediante cuñas o roscas y el registro previo de cotas y grietas existentes. La ejecución debe preservar un espacio de trabajo seguro, utilizar cabezales y durmientes continuos, controlar verticalidad, arriostramiento y conexiones, y documentar la carga estimada, la configuración instalada y las cotas de referencia. La inspección, el monitoreo y el retiro gradual del apuntalamiento forman parte del proceso y deben coordinarse con la reparación definitiva.

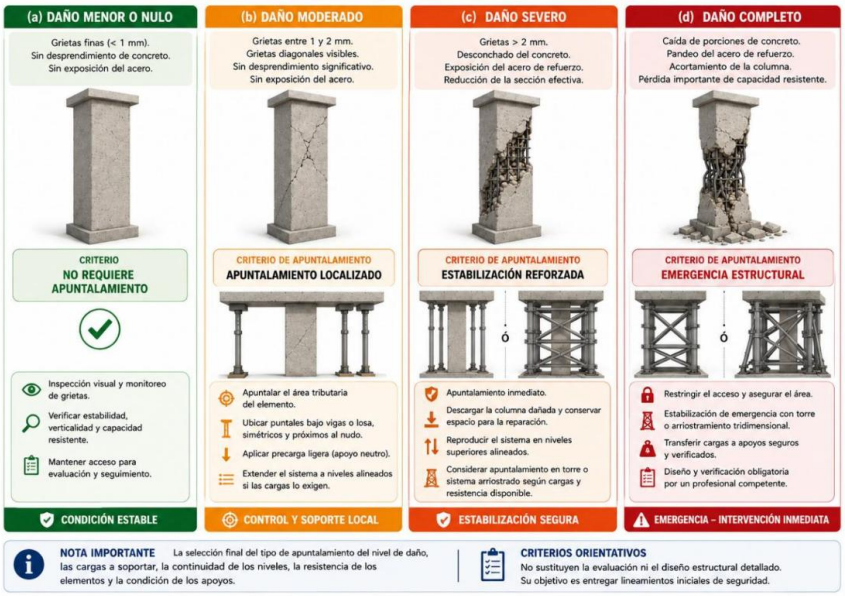


Figura 16.2. *Apuntalamiento de acuerdo con el tipo de daño según (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-d).*

En conjunto, este lineamiento establece una transición explícita desde la identificación del daño hacia una estabilización proporcional a la pérdida de capacidad y a la extensión del sistema afectado. Su aporte principal es separar conceptualmente la seguridad provisional de la recuperación estructural: el apuntalamiento reduce el riesgo inmediato de colapso o movimiento no controlado, pero la decisión sobre rehabilitación, reforzamiento o demolición requiere una evaluación estructural posterior.

16.2. Evaluación, reparación y restitución de paredes de mampostería dañadas por sismo

El lineamiento de mampostería (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-c), está dirigido a paredes que no forman parte del sistema resistente a sismo y establece criterios para decidir entre reparación, reconstrucción localizada y demolición (Figura 16.3). Su alcance diferencia de forma explícita la mampostería no separada del pórtico, que mantiene contacto rígido con vigas y columnas y puede participar en la respuesta lateral mediante una biela diagonal de comprensión, de la mampostería separada, dispuesta con una junta perimetral deformable para limitar la transferencia de cargas laterales. El documento no sustituye la evaluación estructural del edificio y excluye del tratamiento simplificado los elementos de mampostería confinada o reforzada, los componentes de concreto reforzado dañados y las edificaciones con daños generalizados, hundimientos o desniveles.

El documento presente está compuesto por 14 secciones donde destaca el criterio de decisiones, procedimientos para reparar mampostería separada y no separada, demolición, mampostería en rutas de evacuación y controles de calidad de los materiales y obra. La selección de la técnica de reparación se basa en el menor nivel de intervención capaz de restituir la condición original sin incrementar la capacidad del sistema. El flujograma de decisión sobre la reparación y/o demolición de mampostería se muestra en la Figura 16.3.

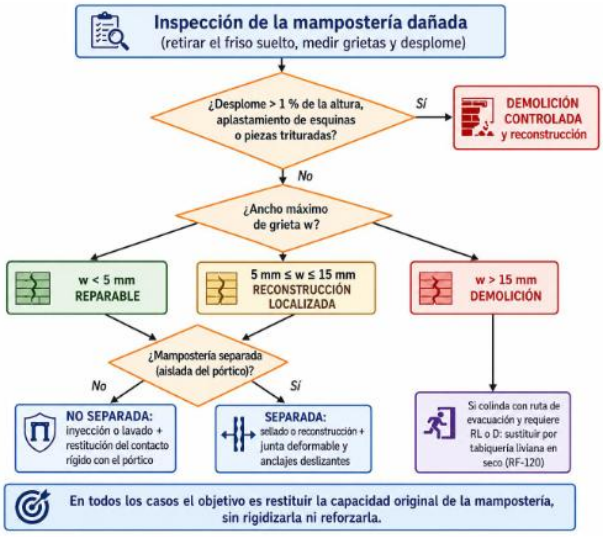


Figura 16.3. *Flujograma de decisión según (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-c).*

Otro aspecto importante de este lineamiento es la disposición basada en la reparación de mampostería en rutas de evacuación o escaleras, donde se indica explícitamente que en caso de reparación se deberá sustituir la mampostería pesada por mampostería liviana con desempeño contra el fuego como se muestra en la Figura 16.4.

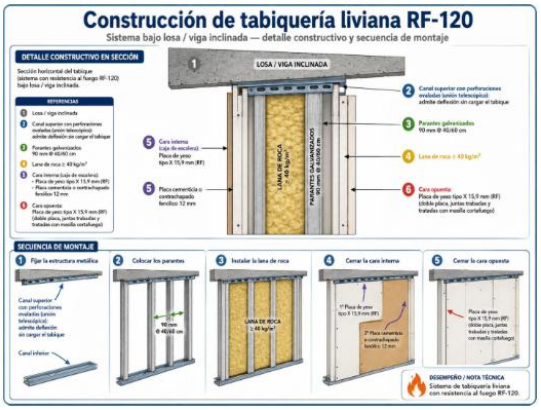


Figura 16.4. *Tabiquería liviana de reposición en rutas de evacuación o escaleras según (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-c).*

El documento configura así un procedimiento jerárquico: primero determina si la pared puede permanecer en sitio de forma segura; luego identifica si su interacción con el pórtico debe conservarse o mantenerse desacoplada; y finalmente selecciona una técnica proporcional al daño. Este enfoque evita que la reparación de elementos no estructurales modifique de forma inadvertida el comportamiento sísmico previsto para la edificación.

16.3. Evaluación y reparación de elementos de concreto reforzado con daño leve y moderado

El lineamiento (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-e) establece criterios para la reparación de columnas, vigas y losas de concreto reforzado con daño leve y/o moderado. La reparación se define como la restitución de las condiciones originales del elemento antes del terremoto, por lo que las intervenciones destinadas a aumentar resistencia, rigidez o ductilidad corresponden a reforzamiento y quedan fuera de este alcance. El documento insiste en que una reparación local no sustituye la evaluación estructural de la edificación: los edificios con daño generalizado, hundimientos, desniveles o indicios de pérdida global de estabilidad deben ser evaluados de forma integral por un ingeniero estructural.

La fase de evaluación requiere reunir antecedentes de identificación, documentación disponible, características del evento, sistema resistente, propiedades de los materiales, daños y condiciones del entorno. En la Figura 16.5 se muestra el flujograma asociado a la toma de decisiones. Para reparar sin reforzar deben verificarse, como mínimo, una ruta de carga segura, un mecanismo de daño identificado, capacidad restaurable de la sección, refuerzo recuperable o reemplazable de manera equivalente, sustrato de concreto competente, deformaciones residuales aceptables y ausencia de vulnerabilidades preexistentes que hagan improcedente devolver el elemento a su condición anterior. Con estos antecedentes, el lineamiento organiza la decisión en tres clases: R1 para reparación localizada; R2 para reconstrucción equivalente condicionada a descarga diseñada, memoria de cálculo e inspección especial; y NA para situaciones que no son admisibles como reparación simple y requieren evaluación para reforzamiento, rehabilitación, reemplazo o demolición.

En columnas y vigas, el lineamiento emplea la clasificación R1–R2–NA para definir la intervención según el mecanismo y severidad del daño. Las condiciones R1, como grietas de flexión con núcleo y acero competentes o desprendimientos localizados de recubrimiento, pueden tratarse mediante sellado, inyección o reparación con mortero o sistemas encofrados. Los daños R2, como aplastamientos localizados, barras pandeadas o rótulas plásticas con núcleo estable, requieren descarga controlada y reconstrucción equivalente, evitando el enderezado directo de barras pandeadas. Las fallas por corte, fractura de barras o estribos, grandes acortamientos, desplomes o daño de nodos quedan fuera de la reparación simple. En vigas, además, debe considerarse su función estructural, interacción con la losa, torsión y anclaje en nodos. Para losas nervadas, la reparación comprende apuntalamiento, retiro controlado del concreto deteriorado, evaluación del refuerzo, preparación del sustrato y restitución con materiales compatibles. La inyección de grietas se admite únicamente cuando el daño es limitado, la grieta es inactiva y no existen desprendimientos significativos.

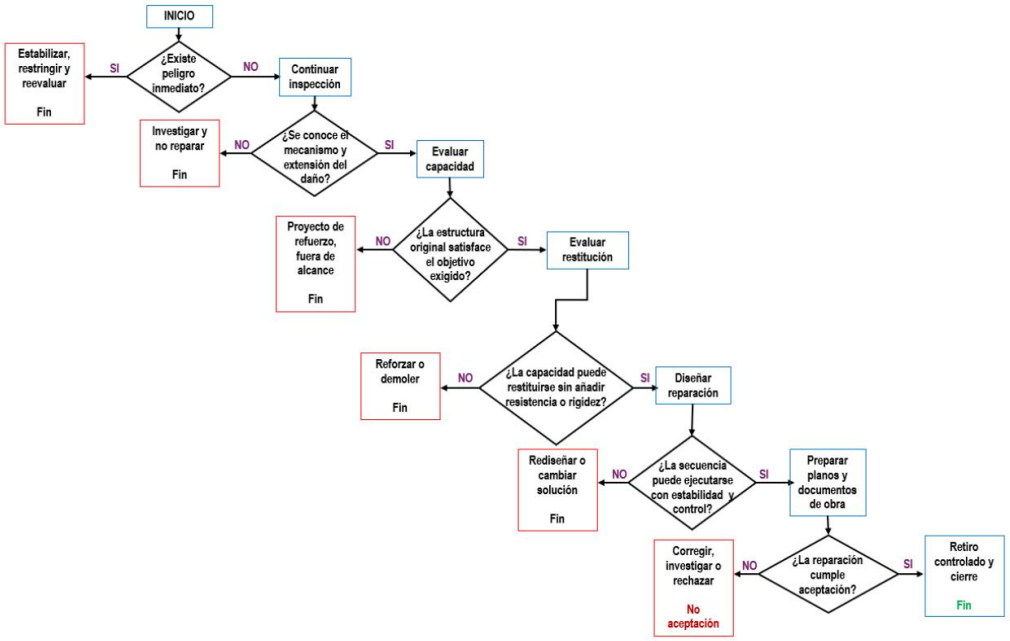


Figura 16.5. *Flujo de decisión para la reparación de elementos según (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-e).*

El control de calidad cierra el procedimiento y debe incluir un plan de inspección y ensayos con actividades, frecuencia, método, criterio de aceptación, registros y responsables. La recepción de materiales, preparación del sustrato, mezclado, colocación, curado, ensayos, inspección final y transferencia de carga requieren documentación. La aceptación no se basa únicamente en la apariencia superficial: deben verificarse geometría, recubrimiento, armado y empalmes, resistencia alcanzada, adherencia de la interfaz y ausencia de defectos como delaminaciones, vacíos o segregación. La característica central de este lineamiento es, por tanto, la correspondencia explícita entre mecanismo de daño, clase de intervención y procedimiento de reparación.

16.4. Consideraciones básicas para la actuación en caso de daño severo

El lineamiento para daño severo (Comité Técnico Asesor del Terremoto, 2026-f), establece las consideraciones mínimas que deben seguir los responsables del proyecto al intervenir elementos de concreto reforzado significativamente afectados. A diferencia del documento para daño leve y moderado, esta guía no desarrolla técnicas específicas de reparación y tampoco incluye proyectos de reforzamiento parcial o total. Su función es definir cuándo una restitución de la condición original puede considerarse técnicamente admisible y qué información, análisis y controles deben respaldarla. Los proyectos deben estar acompañados por memoria descriptiva y planos de detalle, y el documento exige que la intervención sea concebida para la edificación específica, sin extrapolar soluciones genéricas.

La evaluación debe documentar el tipo, ubicación y geometría del daño; las grietas y pérdidas de material; el estado de estribos o ligaduras; el número y diámetro de barras pandeadas; las dimensiones y el armado existente; los usos y niveles de carga reales; el grado de desprendimiento o trituración del núcleo; la solidez del concreto y la existencia de deterioros previos, especialmente corrosión. Además, el proyecto debe identificar la causa y el mecanismo de falla y explicar de qué manera la reparación atiende esas vulnerabilidades. El documento advierte que una reparación puede permitir una habitabilidad temporal, pero no implica que la edificación satisfaga la normativa sísmica vigente ni que su vulnerabilidad global haya sido corregida.

Un aspecto especialmente relevante es la identificación de situaciones que obligan a una evaluación estructural completa antes de reparar. El documento define como daño estructural extenso, entre otros casos, la reducción superior al 33% de la capacidad nominal del sistema resistente lateral en cualquier dirección respecto de la condición previa al daño. Para el sistema gravitacional se considera una combinación de criterios que incluye elementos verticales cuya área tributaria supera el 30% del área total de pisos y techos, una reducción superior al 20% de su capacidad vertical in situ y una relación demanda/capacidad gravitacional mayor que 1,33. Asimismo, las derivas permanentes de entrepiso iguales o superiores al 0,5% requieren estudios especiales. Cuando la evaluación determine que la restitución de la condición original no es técnicamente procedente o no resuelve el mecanismo de falla, el proyecto debe pasar a reforzamiento parcial o total.

El proyecto debe incorporar la estabilidad local y global durante los trabajos, el apuntalamiento y su secuencia de remoción, las condiciones post-sismo de distribución de cargas y la compatibilidad entre el material existente y el material de reparación. Se establece además que la reparación no puede reducir la ductilidad previa al sismo ni modificar la resistencia

o rigidez del elemento; si lo hace, la estructura debe ser evaluada detalladamente para identificar y corregir los efectos adversos. La transferencia de fuerzas en la interfaz entre sustrato y reparación debe formar parte explícita del diseño.

Los documentos de proyecto deben incluir diagnóstico y mecanismo de falla, memoria de cálculo, especificaciones de materiales, plan de ejecución, plan de apuntalamiento, secuencia constructiva y retiro, planos de detalle, plan de inspección y ensayos y restricciones de uso durante los trabajos. El control de calidad se organiza por etapas: recepción de materiales, preparación, mezclado, colocación, curado, ensayos, inspección final y transferencia de carga. Cada etapa exige registros verificables y criterios definidos antes de la ejecución. La aceptación considera, entre otros aspectos, la geometría y el armado respecto de los planos aprobados, la resistencia alcanzada, la adherencia de la interfaz y la ausencia de delaminaciones, vacíos u otros defectos que comprometan la transferencia de esfuerzos.

17. NORMA DE EMERGENCIA

La Norma Sismorresistente de Emergencia actualmente en elaboración por el Comité Técnico Asesor tiene como finalidad responder a la necesidad de vivienda y de otras edificaciones de la población afectada por el terremoto, así como para regular la reparación y el reforzamiento de las construcciones dañadas. Debe ser aplicada en conjunto con la Norma COVENIN 1756-1:2019 en los artículos que no sufren modificaciones. A continuación de cada Artículo se agrega un Comentario explicativo del mismo.

Se considera un aumento en los movimientos sísmicos de diseño en el Estado La Guaira, el cual se incorpora amplificando el espectro de respuesta por un Factor de Campo Cercano. Se establecen también limitaciones para la construcción en zonas situadas cerca de la falla de San Sebastián.

Se aumentan las fuerzas de diseño de pórticos de concreto reforzado (vigas y columnas) que contienen paredes de relleno constituidas por materiales frágiles y pesados tales como bloques de arcilla o de concreto, ya sea que estén dentro del pórtico o fuera del mismo, Similarmente, se exigen menores desplazamientos y derivas laterales de estos sistemas, a fin de promover edificaciones más rígidas, en consonancia con la experiencia del terremoto que demostró el mejor desempeño de los edificios de muros sobre los edificios de pórticos. Por otro lado, estas limitaciones en derivas, protege a las paredes con bloques de arcilla a fin de evitar daños excesivos. Al mismo tiempo se promueve el uso de materiales livianos y flexibles como paredes de relleno.

Aun cuando ya está establecido en la Norma COVENIN 1756-1:2019 vigente, se destaca en la Norma de Emergencia la obligatoriedad de disponer de anclajes de las paredes a la estructura, que tiene como finalidad evitar el desplome de las paredes de mampostería de bloques de arcilla observado durante el terremoto del 24 de junio de 2026. El anclaje pared-estructura debe ser tanto con las vigas como con las columnas, y aplicarse tanto a las paredes exteriores como a las interiores. En las paredes que no están dentro de elementos estructurales (vigas y columna) se deberán colocar machones y vigas de corona que garanticen su estabilidad. Una alternativa es el uso de paredes más livianas y flexibles como las de placas de yeso laminado (dry-wall) o similares. Otra opción es separar las paredes de los pórticos, pero se debe garantizar su estabilidad fuera del plano mediante elementos de confinamiento, anclajes, machones, vigas de corona u otras estrategias de apoyo. El sistema de anclaje debe señalarse en los planos de arquitectura y de estructura.

Se enfatiza lo ya indicado en la Norma COVENIN 1756 de la importancia de la revisión independiente de los proyectos y de la inspección de las obras, la cual es una práctica común en países sujetos a la acción de terremotos. El proyecto debe ser revisado y aprobado por la Ingeniería Municipal, de acuerdo a lo indicado en los artículos 85 y 87 de la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística, el artículo 61 del Reglamento de la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística y los artículos 1, 3.2, 5, 6 y 8 de la Ley Orgánica del Sistema Venezolano para la Calidad. La Ingeniería Municipal puede establecer los reglamentos necesarios para financiar la contratación del ingeniero revisor, por ejemplo, una opción que se utiliza en otros países es que el ingeniero revisor sea financiado por el propietario de la obra. La Ingeniería Municipal debe disponer de un listado de especialistas en ingeniería estructural y sismorresistente, para facilitar la selección del revisor del proyecto.

18. CONTRIBUCIONES DE DELEGACIONES INTERNACIONALES

Se despertó un interés global por estudiar los efectos destructivos del terremoto. Desde la primera semana numerosas delegaciones llegaron al país, entre ellas podemos destacar a las provenientes de la Universidad de Stanford (EEUU), la Universidad del Norte de Colombia, Portugal, Estados Unidos (Kit Miyamoto), República Popular de China, NZSEE (sociedad de Ingeniería Sísmica de Nueva Zelanda), la Pontificia Universidad Católica de Chile, el *Earthquake Engineering Research Institute* (EERI, EEUU), la Universidad de Chile, la Agencia de cooperación internacional de Japón (JICA), la Sociedad francesa de ingeniería sísmica (AFPS) y la Universidad Nacional Autónoma de México, ver figuras 18.1 a 18.9.



Figura 18.1. *Delegación de Stanford, Univ. Del Norte (Colombia) y Universidad de Chile. Fecha: 04 de julio 2026.*



Figura 18.2. *Delegación de Portugal durante inspección al Hospital Pérez Carreño. Fecha: 05 de julio de 2026.*



Figura 18.3. *Delegación de la República Popular de China. Fecha: 10 de agosto de 2026.*



Figura 18.4. *Delegación de la NZSEE, Nueva Zelanda. Fecha: 11 de agosto de 2026.*



Figura 18.5. *Delegación de PUC, Chile. Fecha: 15 de agosto de 2026*



Figura 18.6. *Delegación del EERI, Estados Unidos. Fecha: 27 de agosto de 2026.*



Figura 18.7. *Delegación de Universidad de Chile en el IMME. Fecha: 28 de agosto de 2026.*



Figura 18.8. *Asociación francesa de Ingeniería Sísmica Fecha: 31 de agosto de 2026.*



Figura 18.9. *Delegación de la UNAM, Mexico, Fecha: 28 de septiembre de 2026.*

19. RECOLECCIÓN DE MATERIALES PARA ESTUDIOS DE PATOLOGÍA

La Comisión Presidencial coordinó con entes nacionales el resguardo de los restos de edificios derrumbados para el estudio de ingeniería forense que permitan determinar las causas de los colapsos. Se han resguardado materiales en FUNDALANAVIAL y el IMME (Figura 19.1 y 19.2), los cuales se resumen a la fecha en la Tabla 19.1. Los elementos estructurales recolectados serán evaluados en el laboratorio de materiales del IMME.



Figura 19.1*. Recuperación de elementos en zona de colapso.*



Figura 19.2. *Resguardo de elementos en el IMME, se evidencia extracción de núcleos.*

Tabla 19.1. *Detalle de materiales recolectados por edificio.*

Nº	**Nombre de edificio**	**Coordenada y ubicación**	**# Núcleos extraídos**	**# barras extraídas**	**Lugar de resguardo**
1	Edificio Los Monjes	10.60883, -67.01484 (Playa Grande, Catia La Mar)	4 (VSOP)	–	FUNDALANAVIAL
2	Residencias Arnedillo	10.60999, -67.01223 (Playa Grande, Catia La Mar)	6 (VSOP)	–	–
3	Residencias Puerto Coral	10.61126, -66.88433 (Macuto)	2 (VSOP)	–	FUNDALANAVIAL
4	OPPPE - 22	10.61510, -66.83804 (Caraballeda)	3 (MINHVI)	–	–
5	OPPPE - 25	10.61219, -66.82974 (Tanaguarena)	4 (VSOP) 11 (CPEHI)	15 (CPEHI)	FUNDALANAVIAL
6	OPPPE - 26	10.61533, -66.84034 (Caraballeda)	4 (VSOP) 14 (CPEHI)	24 (CPEHI)	IMME FUNDALANAVIAL
7	OPPPE - 27	10.61455, -66.83981 (Caraballeda)	4 (VSOP) 12 (CPEHI)	19 (CPEHI)	IMME
8	OPPPE - 33	10.61395, -66.83765 (Caraballeda)	11 (CPEHI)	8 (CPEHI)	–
9	OPPPE - 36	10.61017, -67.02350 (Catia La Mar)	11 (CPEHI)	17 (CPEHI)	–
10	Ritasol Palace	10.61812, -66.85531 (Caraballeda)	3 (CPEHI)	–	IMME
11	Petunia 1	Los Palos Grandes, Caracas	9	3	IMME
12	Urb. Hugo Chávez. SUMMA	Playa Grande, Parroquia Urimare, Estado La Guaira	Materiales varios	Materiales varios	IMME

Leyenda: CPEHI: Comisión Presidencial de Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras.
IMME: Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la UCV.

20. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a) El terremoto de La Guaira del 24 de junio de 2026 provocó gran destrucción en Venezuela, principalmente en el Estado La Guaira y en menor grado en el área metropolitana de Caracas. El movimiento vibratorio fue registrado en la capital, con una aceleración máxima de 0,24 g en roca, pero con una severidad menor en general que la contemplada en la norma COVENIN 1756 para períodos de retorno de 475 años. Pero no fue registrado en La Guaira donde se estima que ocurrieron pulsos de velocidades de gran amplitud que causaron un extenso daño a edificaciones. Determinaciones hechas por un grupo de investigadores de USA, Chile y Venezuela (Bustos y otros, 2026; Ruiz y otros, 2026) a partir de la observación de videos obtenidos en Caraballeda, concluyen que la amplitud del movimiento vibratorio es comparable con algunos de los movimientos más intensos jamás registrados en el planeta, debido a la cercanía a la ruptura tectónica (falla).

b) Se desarrolló la plataforma digital HABITABLE durante la primera semana posterior al evento, para centralizar la recopilación de datos de las inspecciones utilizando la metodología de inspección rápida desarrollada previamente por un equipo IMME-FUNVISIS. Se formaron cerca de 4.900 inspectores en las primeras semanas después de ocurrido el evento, y se inspeccionaron 63.070 edificaciones para la fecha del 11 de septiembre, encontrando que un 18 % tuvieron daño severo y no pueden ser habitadas (Etiqueta Roja) y un 24% tienen daños, pero pueden ser habitadas con restricciones (Etiqueta Amarilla). Los daños se concentraron el Estado La Guaira por estar sus poblaciones más cercanas a la ruptura tectónica (falla), con 5.490 edificaciones con Etiquetas Rojas de un total de 17.264 edificaciones evaluadas.

c) Un total de 1.529 edificaciones en el país tuvieron colapso total o parcial, de los cuales 692 (45%) son edificios mayores a 3 pisos, mientras que 837 (55%) se califican como casas de 1 a 3 pisos. Un total de 1.159 edificaciones en el Estado La Guaira tuvieron colapso, total o parcial, ese número se reduce a 143 en el área metropolitana de Caracas. Contabilizando La Guaira y Caracas, un 53% son edificaciones bajas, entre 1 y 3 pisos, mientras que un 31% están entre 4 y 7 pisos y un 16% son mayores o iguales a 8 pisos. Un 52% fueron construidas entre 1968 y 2001, un 32% entre 2002 y 2020, un 13% antes de 1967 y un 3% después del 2021.

d) Los mayores daños se concentraron en zonas con mayores espesores de sedimentos, en Caraballeda y en Altamira-Los Palos Grandes y San Bernardino, pero también en las mesetas de Playa Grande y Mamo por posiblemente

efectos topográficos. Se observó menos daño en las construcciones en la base de las montañas, tanto en Caracas como en La Guaira, indicativo de la disminución de la amplitud del movimiento en zonas rocosas.

e) Las edificaciones de pórticos de concreto reforzado resultaron ser muy flexibles, lo que condujo a numerosos colapsos y al derrumbe de paredes de mampostería de relleno que causaron muchas víctimas. Algunos de los modos de colapso observados pueden ser atribuidos a los efectos de campo cercano (pulsos) y/o a la amplificación generada por los sedimentos profundos. Para adecuar las edificaciones existentes, así como para construir edificaciones nuevas más seguras, es recomendable que las estructuras sean más rígidas y que se tomen las medidas pertinentes para reducir el daño y evitar el colapso de las paredes de mampostería.

f) Las edificaciones con muros de concreto reforzado presentaron, en general, una adecuada capacidad para mantener la estabilidad global, aunque con diferencias de desempeño asociadas principalmente a la configuración y continuidad de los muros, el detallado sísmico, la calidad constructiva, las condiciones geotécnicas y el deterioro previo. Los sistemas con muros continuos y bien distribuidos en ambas direcciones mostraron un comportamiento más favorable, mientras que los daños más severos incluyeron aplastamiento del concreto, pandeo y fractura del refuerzo y daño concentrado en regiones críticas. En algunos casos, los asentamientos y las condiciones locales del suelo contribuyeron al daño, mientras que la corrosión asociada al ambiente marino redujo la capacidad de algunos elementos, especialmente en muros delgados. Los casos de mejor desempeño confirman que esta tipología estructural es adecuada para zonas sísmicas cuando existe coherencia entre diseño, detallado, ejecución, mantenimiento y condiciones del sitio.

g) Se observó el colapso de varias torres de los edificios OPPPE en el Estado La Guaira, constituidas por pórticos de concreto reforzado. Del total de 43 torres, 16 tuvieron colapso total y 3 colapso parcial. La totalidad de las torres colapsadas correspondió a la tipología de Torre Doble, mientras que la tipología Torre Simple no registró colapsos. En 14 de las 16 torres colapsadas, la dirección de colapso coincide con la dirección débil de las columnas. En 10 torres el sentido predominante de colapso es Norte con una inclinación hacia el Oeste y en 3 torres es en sentido Norte con componente Este. En Caracas estos edificios mostraron un desempeño aceptable sin daños.

h) Se evaluaron 660 viviendas populares en el sector Playa Verde, Estado La Guaira, donde hubo numerosos colapsos. A 170 viviendas (25,8 %) se le asignó Etiqueta Roja, a 31 (4,7%) Etiqueta Negra que equivale a colapso o riesgo geológico, a 229 viviendas (34,7 %) Etiqueta Amarilla y a 230 (34,9%) Etiqueta Verde.

i) El desempeño de las edificaciones de cuatro niveles construidas con el sistema SUMMA de paneles de acero ligero galvanizado arriostrados con diagonales, se caracterizó en buena medida por una concentración de deformación lateral en el nivel inferior, que en algunos casos se extendió hasta el segundo o el tercer nivel. En las que no colapsaron, el daño se localizó de forma recurrente en la viga intermedia de entrepiso y en los perfiles, sus conexiones y en los anclajes a la fundación. Del total de 193 edificaciones del conjunto, 107 (55,4%) no presentaron colapso y 86 (44,6 %) presentan colapso de al menos un nivel. Este conjunto está localizado en Playa Grande, al lado de la ruptura (falla), y sobre una meseta, por lo que es posible que aquí se combinen el efecto de pulso y el efecto topográfico.

j) Un grupo significativo de edificaciones escolares fueron afectadas, Del total de 2.205 planteles escolares, inspeccionados, a 171 se les asignó Etiqueta Roja y a 467 Etiqueta Amarilla. Se describen 13 edificaciones derrumbadas o con daño estructural permanente. El mayor número de Etiquetas Rojas corresponde al Distrito Capital con 76 seguido por el estado La Guaira con 56 y el estado Miranda con 35.

k) Se realizaron inspecciones a 433 edificaciones médico-asistenciales afectadas en 6 estados del país, dando como resultado 3 colapsos, 34 Etiquetas Rojas, 71 Amarillas y 328 Verdes. Colapsó uno de los módulos del Hospital Risquez en Caracas. En el derrumbe del Centro de Atención Psico-familiar El Niño y el Mar en Catia La Mar murieron 16 niños y 3 profesionales de la salud. Un total de 55 edificaciones patrimoniales fueron afectadas, entre ellas el Palacio de Las Academias y la Catedral de Caracas.

l) Se desarrollaron cuatro manuales de lineamientos técnicos, para la estabilización temporal mediante apuntalamiento, evaluación y restitución de mampostería, reparación de elementos de concreto reforzado con daño leve o moderado y criterios de actuación frente a daño severo de las edificaciones. La finalidad es apoyar la toma de decisiones, reducir riesgos durante las intervenciones y establecer una base metodológica para la recuperación post-sísmica. Esta organización permite distinguir claramente entre medidas de emergencia, reparación destinada a restituir la condición original y situaciones que requieren evaluación estructural detallada, rehabilitación, reforzamiento o demolición.

m) Se presentaron lineamientos en consideración para el desarrollo de una norma de emergencia para construcciones en el Estado La Guaira, que incluya una franja con limitaciones a la construcción por estar cerca de la falla geológica de San Sebastián. Se recomienda completar el proyecto de microzonificación sísmica del Estado La Guaira.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores Alfredo Urich, José Jácome y Michael Schmitz por sus aportes en las discusiones del Comité Técnico, al Prof. José Morales de la Universidad Católica Andrés Bello, a los Prof. Diego Pizarro y Fabián Rojas de la Universidad de Chile, y al Prof. Matías Hube de la Universidad Católica de Chile, por facilitar algunas de las fotografías presentadas. Para

la Sección 12 (Edificios del Sistema SUMMA), se agradece al Ing. René Nouel y al Ing. Martín Arnal por el apoyo sostenido a los trabajos de campo, y a los pasantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela que ejecutaron el levantamiento detallado de las edificaciones del sistema SUMMA: José G. Briceño, Anthony Montilla, Gabriel Piñero, Génesis González y Stefany Guerra. Asimismo, al Ing. Francisco Pinto, por la interpretación de los ensayos de penetración estándar del urbanismo Hugo Chávez y de las condiciones del suelo del sitio. Al Prof. Daniel González por su apoyo para la visita a las edificaciones educativas del Estado La Guaira, a Ángel Colmenarez por su apoyo en la auditoría de HABITABLE, a Jhonnathan Rodríguez por la coordinación de inspecciones, a Elizabeth Raven por la adecuación gráfica y formato del artículo y a los miles de inspectores voluntarios que han permitido recabar buena parte de la información que se presenta en este artículo.

REFERENCIAS

Ascanio P. W., González J. Rendón M. (2026). Análisis de los Acelerogramas del Doble Sismo ocurrido el 24 de junio de 2026, de Magnitudes 7,2 y 7,5. FUNVISIS, Informe Técnico FUN-012, 2026.

Balza N. (2026). Extranewsmundo, Instagram publicado 22 de julio 2026.

Bustos J., Nathan Girmay, Miguel Bravo-Haro, Rodrigo Rojas, Diego Montemayor, Pablo Heresi, Eduardo Miranda, Francisco Pinto, Gonzalo Montalva, Nicolás Bastías, Javier Ojeda, Fernanda Paz, Felipe Villena, Anny Villegas (2026); Ground-Motion Intensity in Caraballeda During the 24 June 2026 7.5 Venezuela Earthquake Estimated from CCTV Video. The Seismic Record 2026; 6 (4): 411–422. doi: https://doi.org/10.1785/0320260045

Caraota Digital (2026). Caraota Digital, julio 2026.

Comité Técnico Asesor del Terremoto. (2026-a). Protocolo técnico de evaluación y rehabilitación de edificaciones luego del terremoto, Fases 1, 2, 3 y 4. Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras.

Comité Técnico Asesor del Terremoto. (2026-b). Evaluación detallada de las edificaciones afectadas por sismo, Fase 2. Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras.

Comité Técnico Asesor del Terremoto. (2026-c). Lineamientos técnicos evaluación, reparación y restitución de paredes de mampostería dañadas por sismo. Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras.

Comité Técnico Asesor del Terremoto. (2026-d). Lineamientos técnicos apuntalamiento de columnas, vigas y losas de concreto reforzado afectadas por sismo. Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras.

Comité Técnico Asesor del Terremoto. (2026-e). Lineamientos técnicos evaluación y reparación de elementos de concreto reforzado con daño leve y moderado por sismo. Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras.

Comité Técnico Asesor del Terremoto. (2026-f). Lineamientos técnicos consideraciones básicas para la actuación en caso de daño severo. Comisión Presidencial para la Evaluación de Habitabilidad de Infraestructuras.

Coronel-D, G, López O. A., Ginés, C., Fierro, F., Marinilli, A., Urich, A. y Rojas R. (2024). Metodología para la evaluación rápida de daños en edificaciones y su aplicación. VI CONPAT-Ve, Caracas, Venezuela.

Diario La Verdad (2026). Periodista Luis López, Diario La Verdad, junio 2026.

CNN en español (2026). Presentado por Andrés Oppenhimer, julio 2026 YOUTUBE.

COVENIN 1753-87. (1987). *Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones - Análisis y Diseño*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN 1756:2001. (2001). *Norma Venezolana Edificaciones Sismorresistentes*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN 1756-1:2019. (2019). *Norma Venezolana Construcciones Sismorresistentes*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

COVENIN 1756-87. (1987). *Edificaciones Antisísmicas*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

El Carabobeño (2026). Periodista Carolina González, El Carabobeño, junio 2026.

El Universal (2026). https://www.eluniversal.com/venezuela/236331/ejercito-de-eeuu-ayuda-en-reapertura-del-aeropuerto-y-de-puerto-maritimo-en-venezuela. 29 de junio de 2026.

ESM (2026), *Engineering Strong-Motion Database*. https://esm-db.eu/#/home

Flores A., Y. (2006). Evaluación sísmica y sondaje geotécnico de pozos en la ciudad de Caracas [Trabajo especial de grado de ingeniería, Universidad Central de Venezuela].

FONDONORMA 1753:2006. (2006). *Norma Venezolana Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural*. Caracas: Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad.

FUNDALANAVIAL (2026). Informe de estudio estándar de penetración SPT del urbanismo Hugo Chávez de Urimare. Informe FLNV-SC-017-JUL-26.

GEER (2026). Association Report 087: 2026 San Felipe and Catia La Mar Earthquake.

Guerrero A. y López O. A. (2021) Sobre cómo un Edificio Vulnerable Resistió sin Daños el Sismo de Caracas de 1967. Revista de Ingeniería Sísmica No. 106, 31-44 (2021), México.

Hisada, Y., S. Tanaka, M. Kurata, et al. 2024. "Near-Fault Strong Motion, Surface Fault Rupture and Building Damage by the 2023 Kahramanmaras Earth Quake," in Proceedings of the 18th World Conference on Earthquake Engineering. 1–10.

Ishihara, K. (1985). Stability of natural deposits during earthquakes. Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 1, pp. 321-376.

IPC (2026). Instituto de Patrimonio Cultural, Matriz de Monitoreo Patrimonio Sismo2026.

Jorland W. (2026). drjorland, Dr. Willaim Jordlan Sierraalta Periodismo Médico, 25 junio 2026.

Kaminosono T., Kumazawa F., Nakano Y. (2002). Manual de Inspección Rápida de Edificios de Concreto Reforzado dañados por Terremotos. Nota Técnica del Instituto

Nacional de Gestión de Tierra e Infraestructura, N° 40.

López O. A., Coronel D. G., Ascanio W., Rojas R., Páez V., Olbrich F., Rengel J. G. y González J. (2014). Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico. Informe Técnico FUNVISIS, FUN-002, 2014.

López O. A., Coronel D., G., Ginés, C., Fierro, F., Marinilli, A. y Urich, A. (2023). Evaluación rápida de daños en edificaciones. Boletín de la Academia de la Ingeniería y el Hábitat, No. 61, p.p. 8-31.

McCallen D., Tang H., Huang J., Pitarka A. (2026). The Influence of Fault Rupture Velocity on Ground Motions and Building Demands in the Near-Fault Region. Earthquake Spectra, 2026; 42:e70095, https://doi.org/10.1002/esp4.70095.

Marsan P., Milana G., Pugliese A., Sanò T. (2000). Local amplification effects recorded by a local strong motion network during the 1997 Umbria – Marche Earthquake. Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland New Zealand, Paper No. 1046.

Minsaludlaguaira_ve (2026). Ministerio del P.P. para la Salud, Estado La Guaira, agosto 2026.

Minsalud (2026). Ministerio del P.P. para la Salud, septiembre 2026.

MOP (1939). *Normas para el cálculo de edificios MOP 1939*. Caracas: Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales, Ministerio de Obras Públicas.

MOP (1948). *Normas para el cálculo de edificios MOP 1947*. Caracas: Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales, Ministerio de Obras Públicas.

MOP (1959). *Normas para el cálculo de edificios MOP 1955*. Caracas: Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales, Ministerio de Obras Públicas.

MOP (1967-a). *Norma provisional para Construcciones Antisísmicas*. Caracas: Ministerio de Obras Públicas.

MOP (1967-b). *Normas para el Cálculo de Estructuras de Concreto Armado para Edificios 1967 - Teoría Clásica*. Caracas: Ministerio de Obras Públicas.

Paez V. (2016). Trabajo Especial de Grado de Magister Scientiarum en Ingeniería Sismorresistente. IMME, FI, Universidad Central de Venezuela. Tutor: Oscar A. López.

Papageorgiou A.S. & Kim J. (1991). Study of the propagation and amplification of seismic waves in Caracas valley with reference to the 29 july 1967 earthquake: SH waves. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 81, N° 6, pp. 2214 – 2233.

PSG Ingenieros (2026). Análisis de Estabilidad Geométrica Post-Sismo: Acortamiento de columnas, Derivas Residuales y Pérdida de Verticalidad. Residencias Parque San Felipe A.

Rodriguez G.M. & Nahmad Y. (2006). Granular convection driven by shearing inertial forces. Physical Review. Vol. 73, N° 1, pp. 1-6.

Romero, M., Cragno, A., Schmitz, M., & González, J. (2002). Evaluación geofísica integral de los conos aluviales en Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, estado Vargas. III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, Memorias, Serie Técnica N° 1-2002, FUNVISIS, pp. 103-108.

Ruiz, R., Boroschek, R., Núñez, E. (2026). Rigid bodies as accidental seismoscopes: Exact time stepper inversion and an estimate of ground acceleration in the 2006 La Guaira earthquake. Mechanical Systems and Signal Processing.

Sanò T., A.Pugliese (1999). Parametric study on topographic effects in seismic soil amplification. Earthquake. Resistant Engineering Structures II, WITpress. Vol 38.

Schmitz, M., Hernández, J., Morales, C., Singer, A., Rocabado, V. , ... & Microzonificación Sísmica Team. (2009). Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades de Caracas y Barquisimeto. FUNVISIS, Informe Técnico final para el FONACIT.

Seed H.B., Whitman R.V., Dezfulian H., Dobry R., Idriss I.M. (1972). Relationships between soil conditions and building damage in the 1967 Caracas earthquake. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE, vol. 98, N° SM7.

Singer, A., Mendiara, F., González, M., & Viscarret, P. (2007). Mapa Geológico del Cuaternario y de las Fallas Cuaternarias del Valle de Caracas. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).

Thomsen, J. H., and Wallace, J. W., (2004). Displacement-based Design of slender RC structural walls – experimental verification, J. Struct. Eng., ASCE, 130, 618–630.

USGS (2026). https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/finite-fault

Wallace, J. W. (1995). Seismic design of RC shear walls; Part I: New code format, J. Struct. Eng., ASCE, 121, 75–87.

Wallace, J. W. (1996). Evaluation of UBC-94 provisions for seismic design of RC structural walls, Earthquake Spectra 12, 327–348.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 329 – 342
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/182

TERREMOTO DE CARACAS Y LA GUAIRA DEL 24 DE JUNIO DE 2026
VULNERABILIDAD DE ACCESOS Y SERVICIOS PÚBLICOS

Eduardo PÁEZ-PUMAR H.

RESUMEN

Este informe técnico, elaborado por el ingeniero Eduardo Páez-Pumar, analiza el impacto devastador del doble sismo de junio de 2026 en la región de Caracas y La Guaira. El texto compara las predicciones de vulnerabilidad en el artículo "Caracas: vulnerabilidad de accesos y servicios públicos", publicado en el libro "El terremoto de Caracas de 1967: 50 años después" por la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat en 2017, con los daños reales sufridos en la infraestructura vial, aeroportuaria y portuaria, destacando el colapso de servicios básicos como electricidad y agua potable. Se detalla cómo la interrupción de las telecomunicaciones y el cierre de accesos críticos dificultaron las labores de rescate y la logística de emergencia. El autor enfatiza que este evento confirma la naturaleza cíclica de los terremotos en Venezuela, instando a las autoridades a ejecutar reformas estructurales urgentes. Finalmente, el documento presenta un plan de recomendaciones para reforzar puentes, viaductos y sistemas sanitarios frente a futuras catástrofes naturales.

ABSTRACT

Caracas and La Guaira earthquake of June 24, 2026: vulnerability of access routes and public utilities

Abstract: This paper evaluates the structural and operational impact of the June 24, 2026 seismic sequence in Caracas and La Guaira, comparing the actual damages with the vulnerability projections formulated in 2017. The double earthquake exposed the fragility of critical road, airport, and port infrastructure, while triggering a systemic failure across electrical, water, sanitation, and telecommunications networks that hindered rescue operations during the critical gold window. Given the historical recurrence of major seismic events in north-central Venezuela, the document outlines an urgent mitigation framework focused on retrofitting bridges and viaducts, upgrading hydraulic systems, and overhauling emergency response protocols in alignment with international INSARAG standards.

Palabras clave: Terremoto de Caracas y La Guaira 2026, vulnerabilidad infraestructura, accesos viales, colapso sistémico, servicios públicos, resiliencia urbana, Protección Civil, INSARAG
Keywords: 2026 Caracas and La Guaira earthquake, infrastructure vulnerability, road access, systemic failure, public utilities, urban resilience, emergency response, INSARAG.

INTRODUCCIÓN

En junio de 2017, publicamos en la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat el libro ***"EL TERREMOTO DE CARACAS DE 1967: 50 AÑOS DESPUÉS"***. Los compiladores del libro fueron: Carlos Genatios, Marianela Lafuente, Alfredo Cilento y José Grases. Mi contribución como coautor se tituló: ***"CARACAS: VULNERABILIDAD DE ACCESOS Y SERVICIOS PÚBLICOS"***

En el presente artículo se hace una comparación entre el estudio presentado en junio de 2017 sobre las vulnerabilidades de acceso y servicios públicos previstas ante un nuevo evento sísmico que afecte a la Gran Caracas y la problemática real ocurrida con las limitaciones de acceso a las zonas afectadas y la interrupción parcial de los diferentes servicios públicos causada por el Terremoto de Caracas y La Guaira del 24 de junio de 2026.

Cuando se produce un sismo de gran magnitud, la restricción de accesos a zonas con edificaciones colapsadas impide la llegada al sitio de camiones de bomberos con escaleras telescópicas, unidades de rescate pesado con herramientas hidráulicas y vehículos con brazos articulados, así como el acceso de ambulancias para el traslado de las personas heridas. También limita el traslado y reubicación de las personas que lograron quedar vivas, pero perdieron sus hogares.

Si no está disponible el servicio eléctrico, se restringe la posibilidad de utilización de dispositivos como geófonos, sensores sísmicos, radares de banda ultra ancha, dispositivos de localización de celulares, cámaras termográficas y otros tantos sensores para ubicar víctimas, así como se restringe también la utilización de dispositivos electro mecánicos para la estabilización y levantamiento de estructuras o herramientas para penetración y corte de elementos metálicos.

La falta del servicio eléctrico para la iluminación nocturna limita la posibilidad de trabajar las 24 horas en labores de rescate y reconstrucción, dificulta la seguridad nocturna en los urbanismos afectados e impide la recarga de teléfonos celulares y otros dispositivos de comunicación inalámbrica.

Adicionalmente, la pérdida de acceso a internet y de las comunicaciones de telefonía móvil impide las coordinaciones

de emergencia y las posibles llamadas de victimas que han quedado vivas encerradas dentro de edificaciones parcialmente colapsadas.

El suministro de electricidad y agua potable es básico para la operación de los hospitales próximos a las zonas afectadas por el sismo y su ausencia puede generar graves problemas de salubridad. Además, si se rompen de forma simultánea las tuberías de agua potable y las redes de aguas servidas en una misma zona, se produce una contaminación cruzada inmediata en el subsuelo, inhabilitando los pozos locales y aumentando drásticamente el riesgo sanitario.

Es por ello que se deben tomar acciones preventivas para evitar las vulnerabilidades de acceso y daños a los servicios públicos tomando en cuenta las experiencias de sismos anteriores en zonas como la Gran Caracas, en la que se producen sismos recurrentes.

Es también necesario el equipamiento y entrenamiento de los cuerpos de bomberos y el apoyo a las instituciones de defensa civil y a cuerpos voluntarios de rescate especializados en este tipo de emergencias.

Como podremos ver a continuación, el reciente doblete sísmico confirma una vez más el comportamiento cíclico de eventos sísmicos en la región, que incluso muestra un descenso entre los períodos de recurrencia.

Entre los grandes terremotos que han afectado a la capital y al centro-norte del país a lo largo de la historia están:

El terremoto del 26 de marzo de 1812 (hace 214 años), ocurrido un jueves santo y que causó miles de muertes, siendo uno de los terremotos más destructivos en la historia del país. Este sismo es también conocido por sus repercusiones históricas, ya que destruyó ciudades en poder de la Primera República como fueron: Caracas (Destruyó gran parte de la capital), La Guaira, Mérida, El Tocuyo y San Felipe. En cambio, las ciudades realistas de Coro, Maracaibo y Angostura no fueron afectadas.

En vista de que este movimiento sísmico produjo daños en varias ciudades del centro-norte del país y ciudades andinas, existe la duda de si se trató de un solo terremoto o si fueron varios eventos ocurridos en un intervalo de pocas horas.

El terremoto de San Narciso del 29 de octubre de 1900 (Hace 126 años y 88 años después del anterior). Su magnitud fue de 7.6 y afectó a Caracas y las ciudades costeras de Macuto, Caraballeda, Naiguatá, Carenero, Higuerote y también se sintió en Guarenas y Guatire.

El terremoto de Caracas del 27 de julio de 1967 (Hace 59 años y 67 años después del anterior). Su magnitud fue de 6.7 y causó el colapso de edificios en zonas como Altamira y Los Palos Grandes y Caraballeda.

Este movimiento sísmico dejó un balance de 236 muertos, 2.000 heridos, 80 mil personas sin vivienda y daños materiales de más de 10 millones de dólares, que incluyeron 6 edificios destruidos, 40 declarados no habitables y 180 que sufrieron deterioros graves.

El Terremoto de Caracas y La Guaira del 24 de junio de 2026 (59 años después del anterior). En este caso, fueron dos potentes sismos de magnitud 7.2 y 7.5 ocurridos durante la conmemoración de la batalla de Carabobo y las fiestas de San Juan, que sacudieron el centro-norte del país

El epicentro del sismo principal de magnitud 7.5, se localizó en el mar Caribe sobre la falla de San Sebastián, aproximadamente a 17 kilómetros al oeste de Catia La Mar, en el estado La Guaira (coordenadas 10.622° N, 67.194° O) y a una profundidad de 10 kilómetros.

El doble sismo causó el colapso de numerosos edificios en Caracas y en el estado La Guaira (Playa Grande, Catia La Mar, La Guaira, Los Corales y Caraballeda), y afectó al Aeropuerto Internacional Simón Bolívar de Maiquetía y al Puerto de La Guaira. También se reportaron destrozos y deterioros en infraestructuras ubicadas en los estados Falcón, Yaracuy y Miranda, y en las ciudades de Maracay y Valencia.

Según las últimas cifras reportadas el 17 de agosto, el número de víctimas mortales ascendió a 6.438 personas, junto con 73.356 heridos, 190 edificios totalmente colapsados, 13.733 inmuebles con restricciones de acceso y 10.696 declarados en situación de alto riesgo. La mayoría de estos inmuebles están ubicados en Caracas y en el estado La Guaira.

Aun cuando no hay cifras concretas del monto de los daños materiales, las estimaciones globales de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres situaron los daños físicos directos en unos 37.000 millones de dólares, divididos en 24.000 millones de dólares en edificaciones y 13.000 millones de dólares en infraestructura.

En el artículo denominado, *"CARACAS: VULNERABILIDAD DE ACCESOS Y SERVICIOS PÚBLICOS"* del libro *"EL TERREMOTO DE CARACAS DE 1967: 50 AÑOS DESPUÉS"*, se hace una introducción inicial en la que se analiza la microsismicidad de la región sobre la cual está asentada la Gran Caracas, descrita de la siguiente manera:

La microsismicidad de la región está definida por un cinturón Este-Oeste de actividad sísmica de 400 Km de largo y 70 Km de ancho. Esta actividad ocurre mayoritariamente a lo largo y ancho de dos zonas subparalelas, San Sebastián costa afuera y La Victoria en el territorio continental, y en menor grado en otras fallas de orientación Noroeste-Sureste que ocurren en el área. (Pérez, 1997).

En la Figura 1 del Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela, el cual es producto de un proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey (USGS) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) con el apoyo del Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo S.A. (INTEVEP) y Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), se pueden observar la falla de San Sebastián identificada como VE-16, así como las fallas de La Victoria identificada como VE-08d y la falla de Pichao, ambas perteneciente al sistema de fallas de La Victoria.

En el mapa también se puede observar el sistema de fallas Tacagua - El Ávila integrado por la falla Tacagua (VE-10a) y la falla El Ávila (VE-10b) que pasa por el límite norte de Caracas.

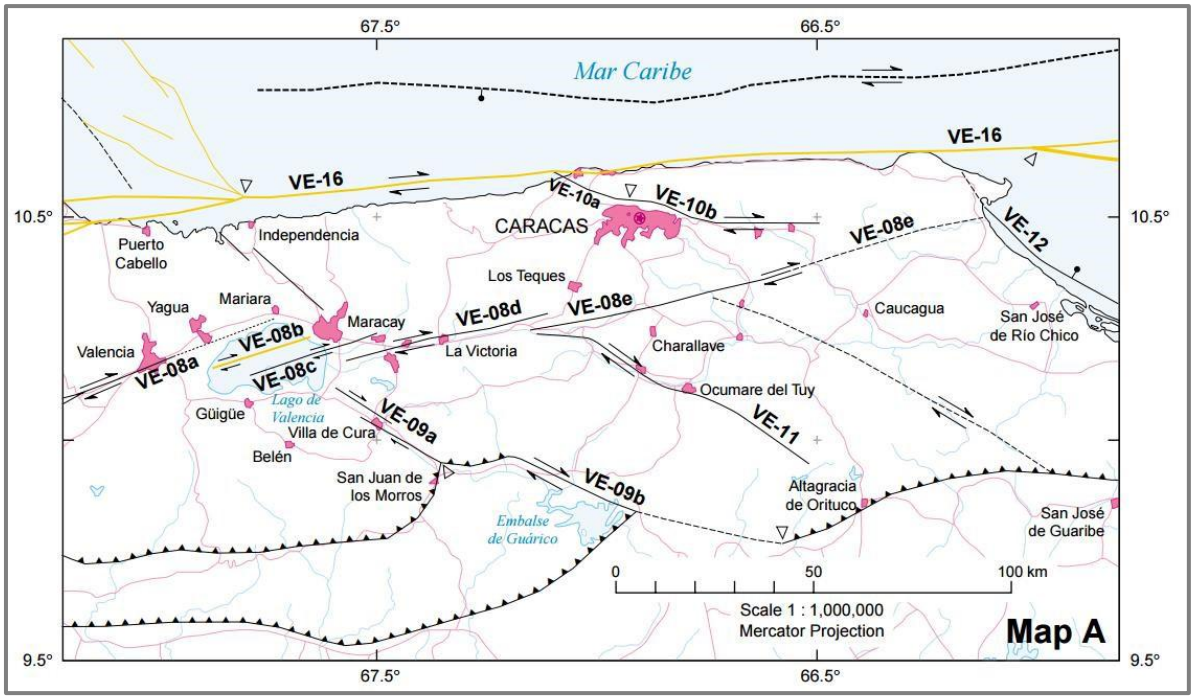


***Figura 1**: Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela.*

(Fuente: FUNVISIS, 2000)

VULNERABILIDADES IDENTIFICADAS VS DAÑOS CAUSADOS

La idea de este nuevo artículo como se indicó inicialmente, es comparar las vulnerabilidades identificadas originalmente con los daños causados por el doble sismo del 24 de junio de 2026, los cuales se analizan a continuación:

1.- VULNERABILIDAD DE LOS ACCESOS A CARACAS

Entre las vulnerabilidades identificadas en el artículo *"El terremoto de Caracas de 1967: 50 años después"*, estaban:

1.1.- VULNERABILIDAD VIAL

En el artículo se indica que el porcentaje de vías asfaltadas de la capital representa el 53% del total nacional. La longitud del sistema vial de la capital es de aproximadamente 250 Km. y la ocupación de las vías vehiculares constituye el 15% de la superficie total.

Esta red vial del Área Metropolitana de Caracas, que representa solo el 1,1% de la superficie total del país, alcanza a concentrar el 47,3% del parque de autobuses y minibuses que circulan en Venezuela, lo que equivale a 12 veces el número de vehículos promedio por kilómetro de vías disponibles en el país.

Caracas tiene un Sistema Expreso Vial Interurbano que la comunica con sus ciudades dormitorio y con el resto del país. Este sistema vial está constituido por cuatro rutas principales: Caracas-La Guaira, Caracas-Guarenas-Guatire, que incluye la conexión al Sistema Expreso Centro - Oriental del país vía la Autopista Gran Mariscal de Ayacucho (AGMA), Caracas - Valles del Tuy que incluye la conexión al Sistema Expreso Centro - Occidental del país vía la Autopista Regional del Centro (ARC) y Caracas - Altos Mirandinos vía la Carretera Panamericana. Ver Figura 2

Las cuatro rutas del Sistema Expreso Interurbano de Caracas se encuentran hoy en día menos saturadas de lo que estaban en 2017 producto del éxodo de venezolanos a otros países y de la crisis económica sin embargo, las rutas alternas como las carreteras Caracas-La Guaira, Caracas-Guarenas-Guatire, Petare-Santa Lucía y Las Adjuntas-El Tambor están en mal estado, rodeadas de barrios con viviendas autoconstruidas sumamente vulnerables y tienen poca capacidad para absorber el volumen vehicular en caso de una interrupción. Por esta razón y por estar Caracas emplazada en un valle tectónico rodeado de montañas y colindando por el norte con el sistema de fallas Tacagua - El Ávila, la ciudad capital es altamente vulnerable y corre el riesgo de quedar aislada ante una condición sísmica.

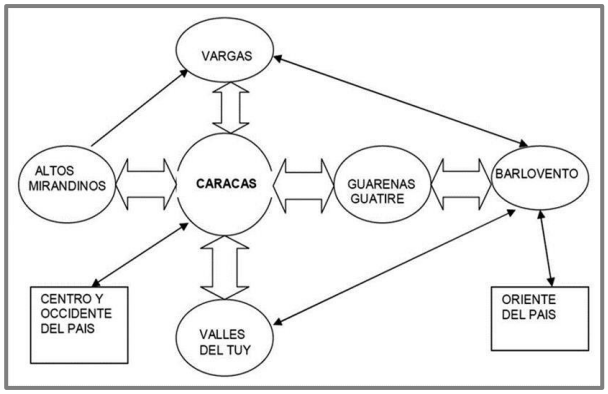


Figura 2: *Sistema Expreso Vial Interurbano.*

(Fuente: MINFRA, 2009)

A continuación, se describen las vulnerabilidades que existían en los accesos viales de la ciudad en el año 2017.

1.1.1.- Autopista Caracas-La Guaira

La Autopista Caracas-La Guaira (ACLG) presentaba fallas geológicas en sus primeros cuatro kilómetros que fueron parcialmente corregidas. Esta condición de inestabilidad geológica no es nueva. La construcción de viviendas informales en los cerros aledaños a la autopista sin la canalización y empotramiento de las aguas servidas, ha sido el detonante de procesos geodinámicos con deslizamientos y fallas de borde.

Hasta el año 2017 se habían evidenciado en los primeros 4 kilómetros, frecuentes movimientos de masa y más de 10 grandes deslizamientos, particularmente en las progresivas 0+600, 2+000, 2+300, 2+900 y 3+100.

La falla de mayor magnitud ocurrió en febrero del 2011, cuando se fracturó la pantalla atirantada del kilómetro 1 de la ACLG y se produjeron levantamientos de la carpeta asfáltica con pliegues de más de 40 cm de alto. Este problema fue totalmente corregido.

La solución definitiva a esta problemática es la construcción del Viaducto Tacagua. Este viaducto constituye la prolongación del Viaducto Alterno al Viaducto Nº 1 de la ACLG hasta llegar al antiguo Peaje Caracas donde se construirá el Distribuidor Macayapa para comunicar la Autopista Caracas-La Guaira con la Avenida Boyacá, Catia y el Distribuidor La Araña. Lamentablemente estos trabajos están paralizados por falta de fondos para su terminación.

Tanto el Viaducto Alterno al Viaducto Nº 1 de la ACLG como su prolongación hasta el Distribuidor Macayapa han sido ubicados en la margen derecha de la quebrada de Tacagua, al norte de la falla Tacagua-El Ávila, en una zona denominada Augengneis de Peña de Mora del Complejo Ávila (Urbani y Ostos, 1989). Esta zona está compuesta por gneises, augengneis, cuarcitas, esquistos cuarzo-muscovíticos y ocasionales anfibolitas (González de Juana et al., 1980) particularmente en el tramo entre Blandín y Plan de Manzano y garantiza una mayor estabilidad geológica ante un fenómeno sísmico.

La característica geológica de la margen izquierda de la quebrada de Tacagua, al sur de la falla Tacagua-El Ávila es totalmente diferente, ya que pertenece a la formación Las Mercedes, compuesta básicamente por esquistos cuarzo-muscovíticos-grafitosos-calcáreos muy propensos a la meteorización química (González de Juana et al., 1980) y por ende muy proclive a deslizarse en laderas de mediana a alta pendiente; deslizamientos que pueden ser activados por un sismo de mediana intensidad.

Por esta inestabilidad geológica, en la zona de Gramovén y Altavista se han venido presentando los problemas de deslizamientos descritos con anterioridad, muchos de ellos generados durante el sismo de 1967 y reactivados con las lluvias de 1999 y 2005. Es de hacer notar que el progresivo deslizamiento de la ladera sur del Viaducto Nº 1 de la ACLG, generó las deformaciones que condujeron al colapso de su estructura en el año 2006.

Con el doble sismo del 24 de junio 2026, la Autopista Caracas-La Guaira no se vio afectada de forma importante. Solo hubo que adecuar una junta de dilatación en el Viaducto Alterno Nº 1. Los otros dos viaductos no sufrieron daños, como tampoco hubo daños en los primeros cuatro kilómetros de la ACLG.

Ocurrió también una afectación menor del techo falso de concreto del túnel Boquerón II, sentido La Guaira, el cual, que al igual como ocurrió en el túnel Boquerón II sentido Caracas en el año 2017, debe ser demolido debido a los daños causados por impactos de vehículos de carga pesada que superan el límite de altura permitido.

Este cielo raso de concreto funciona como una losa superior interna diseñada para mejorar el sistema de ventilación y ocultar las tuberías del sistema contra incendios. No tiene ninguna función estructural.

También se evidenció la presencia de filtraciones de agua en la salida del túnel Boquerón I en dirección a Caracas, las cuales fueron evaluadas y no causan ningún riesgo para la estructura.

1.1.2.- Autopista Gran Mariscal de Ayacucho

En el caso de la Autopista Gran Mariscal de Ayacucho (AGMA), tramo Caracas-Guarenas-Guatire, han ocurrido también procesos geodinámicos con deslizamientos y fallas de borde de magnitudes importantes a lo largo del tiempo. El de mayor relevancia reciente fue en el kilómetro 5 a la altura de los bloques de Caucagüita subiendo hacia Caracas frente a Parque Caiza; originado por la falta de canalización de aguas servidas en los barrios de Caucagüita. En este lugar se presentaron deslizamientos que ya fueron solucionados.

1.1.3.- Autopista Regional del Centro (Valles del Tuy y Centro-Occidente)

La comunicación de Caracas con los Valles del Tuy y con el Centro-Occidente del país se realiza por la Autopista Regional del Centro (ARC), la cual también viene presentando problemas de inestabilidad geológica, con deslizamientos y fallas de borde, particularmente en el tramo comprendido entre

Hoyo de la Puerta y Tejerías en el que las invasiones se han venido incrementando.

Sin embargo, el punto más vulnerable de la ARC es el Viaducto de La Cabrera. La problemática de falla de este viaducto ha sido suficientemente estudiada, pero las reparaciones y refuerzos realizados a la estructura han sido parciales e incompletos.

Entre los trabajos que faltan está reforzar la estructura para adecuarla a las normas de sobrecarga vigentes y reforzar el sistema de fundaciones con el fin de que cumpla con la normativa sismorresistente, ya que los suelos sobre los cuales está fundado son susceptibles a sufrir licuefacción.

Hay que recordar que la ARC entre Las Tejerías y Maracay sigue un trazado paralelo a la falla de La Victoria, lo cual contribuye en aumentar la vulnerabilidad existente.

Sin embargo, con el doble sismo del 24 de junio 2026, no se vio afectado, ya que la falla de La Victoria no tuvo movimientos.

1.1.4.- Carretera Panamericana (Altos Mirandinos)

La comunicación de Caracas con los Altos Mirandinos se realiza por la Carretera Panamericana, la cual se ha visto afectada significativamente por deslizamientos y fallas de borde debido a las invasiones y construcciones ilegales ocurridas durante los últimos años, sobre todo en los primeros 4 kilómetros.

El doble sismo del 24 de junio de 2026, causó el cierre total y obstrucción de vías en la Carretera Panamericana debido a múltiples derrumbes de gran magnitud.

El incidente más crítico se localizó en el sentido Caracas-Los Teques, a la altura del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), donde los deslizamientos bloquearon por completo los canales de circulación.

Esta condición obligó a la activación de canales de contraflujo para mitigar la fuerte congestión vehicular y permitir el paso controlado de suministros y rescatistas para atender daños en estructuras aledañas. Los derrumbes dañaron fachadas y techos de comercios e infraestructuras posicionadas a los bordes de la carretera. Adicionalmente el sismo afectó a edificaciones como el Centro Comercial La Cascada.

1.1.5.- Rutas alternas

Las rutas alternas como las carreteras: Caracas-La Guaira, Caracas-Guarenas-Guatire, Petare-Santa Lucía y Las Adjuntas-El Tambor, cuyas laderas al igual que en la Carretera Panamericana se han venido llenando de barrios cada vez más concentrados y poblados, tienen poca capacidad para absorber el volumen vehicular en caso de una interrupción del paso de vehículos en las arterias viales principales.

Las afectaciones por el doble sismo del 24 de junio de 2026 en estas rutas alternas fueron las siguientes:

Carretera Caracas-La Guaira.

En la carretera Caracas-La Guaira, ocurrieron derrumbes y daños de viviendas. El movimiento sísmico provocó múltiples deslizamientos de tierra y desprendimientos de rocas de gran magnitud a lo largo de la vía, lo que interrumpió el libre tránsito.

En sectores específicos como La Ceiba, las rocas caídas impactaron directamente sobre las estructuras residenciales en las zonas altas. Se confirmaron daños estructurales de consideración en al menos cinco viviendas del sector.

Carretera Caracas-Guarenas-Guatire.

En la Carretera Caracas-Guarenas-Guatire, se registraron múltiples desprendimientos de rocas y deslizamientos en las laderas adyacentes a la vía, lo que bloqueó el paso de vehículos en varios tramos aislando comunidades rurales.

En sectores situados en el trayecto de la carretera entre Guarenas y Guatire (como los alrededores de la Urbanización Alto Grande), el grado de afectación en edificaciones e infraestructuras habitacionales fue bastante importante. Conjuntos residenciales enteros de Guarenas sufrieron el colapso masivo de sus estructuras (como en Oropeza Castillo y el Bloque 37 de la Urbanización 27 de Febrero), lo que generó un éxodo de residentes hacia refugios debido al agrietamiento de las estructuras de los edificios.

Negocios locales situados a pie de vía o en los cascos de poblaciones cercanas a la carretera, sufrieron derrumbes totales (como la frutería Sanino en Guatire), dejando múltiples personas lesionadas atrapadas en los escombros después del sismo.

Carretera Petare-Santa Lucía.

En la carretera Petare-Santa Lucía, no sufrió daños estructurales o cierres de circulación por derrumbes tras el doble sismo del 24 de junio de 2026.

Carretera vieja de Los Teques, tramo Las Adjuntas-El Tambor.

En el caso de la carretera vieja de Los Teques, tramo Las Adjuntas-El Tambor, el sismo causó importantes afectaciones, principalmente vinculadas a deslizamientos de tierra y al colapso de infraestructuras adyacentes.

Los movimientos sísmicos provocaron múltiples derrumbes en los taludes de la carretera, lo cual obligó a que organismos de seguridad ciudadana y de la Alcaldía del Municipio Guaicaipuro ejecutaran labores el despeje de los deslizamientos para restablecer la circulación vehicular.

Se reportó también el colapso de al menos 19 viviendas a lo largo de la carretera. El daño más severo se concentró en el sector Copei (parroquia Macarao), donde varias estructuras levantadas sobre rellenos y con defectos en fundaciones, cedieron hacia la calzada, obligando a la activación de cuadrillas de demolición y utilización de maquinaria pesada para despejar la vía.

Arterias viales en el estado La Guaira

La red vial del estado La Guaira se vio sumamente afectada por el par sísmico del 24 de junio de 2026, que provocó el colapso de estructuras adyacentes a la vía, así cono grietas,

asentamientos y deslizamientos de tierra en las principales vías de comunicación, dejando la región inicialmente incomunicada por vía terrestre.

Esta afectación incluyó también estructuras importantes como el puente sobre el río San Julián que conecta a Caraballeda con el resto de La Guaira, el cual colapsó tras el sismo y sus réplicas, interrumpiendo el tránsito vehicular y peatonal.

A lo anterior se sumó el colapso de un centenar de edificios en sectores como Caraballeda que arrojaron grandes volúmenes de escombros sobre las avenidas del litoral central, obstruyendo el libre tránsito.

Las ciudades costeras de la parroquia Carayaca como Chichiriviche de la Costa quedaron incomunicadas por los derrumbes en la vía y sufrieron un desabastecimiento crítico de agua potable, alimentos de primera necesidad y medicinas. Algo similar ocurrió con el paso vehicular entre las comunidades de Galipán y La Guaira que quedó completamente inhabilitado por semanas debido a los escombros y derrumbes,

2.- OTROS ACCESOS A LA CIUDAD

2.1.- Ferrocarril del Tuy

Las inspecciones realizadas confirmaron que la infraestructura principal no sufrió afectaciones importantes. Una vez realizadas las evaluaciones entró nuevamente en funcionamiento.

2.2.- Metro de Los Teques

Las inspecciones realizadas en la infraestructura confirmaron que el Metro de Los Teques no se vio afectado. Una vez realizadas las evaluaciones, entró nuevamente en funcionamiento y sirvió como contingencia a los problemas de interrupción de circulación ocurridos en la Carretera Panamericana.

2.3.- Aeropuerto La Carlota (Generalísimo Francisco de Miranda)

La Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda, que representa la contingencia más importante ante una condición sísmica que genere obstrucciones de la red vial interurbana de Caracas y deje a la ciudad incomunicada, no sufrió afectaciones por el doble sismo del 24 de junio de 2026.

Afortunadamente, no fue necesaria la utilización de esta pista de aterrizaje, básica para poder atender una situación de catástrofe y surtir de alimentos y medicamentos a la ciudad.

2.4.- Aeropuerto Internacional Simón Bolívar de Maiquetía

En vista de que el estudio original se refería a los accesos a Caracas y no al Centro Norte Costero de Venezuela, no se analizaron posibles daños al Aeropuerto de Maiquetía, el cual se vio bien afectado por el doble sismo del 24 de junio de 2026 por estar alineado con la falla de San Sebastián y próximo al epicentro, al grado de que hubo que suspender las operaciones aéreas. Ver Figura 1

Entre los daños causados por el doble sismo del 24 de junio de 2026 estuvieron:

Daños en la pista principal 10L: Se registraron importantes grietas particularmente longitudinales en el pavimento, así como algunas fracturas y desniveles que aún impiden la utilización de esta pista.

Daños en la pista principal 10R: Se registraron también grietas en el pavimento de la pista, por lo que fue cerrada para sustituir la totalidad de la carpeta asfáltica. Actualmente se encuentra en operación.

Colapso de cielo rasos y cerramientos interiores: Tanto el terminal nacional, como el terminal internacional se vieron afectados por desprendimientos de paneles de cielo raso, caída de tabiques divisorios y de paredes de mampostería, que dañaron adicionalmente el mobiliario y los equipos especializados del aeropuerto, así como el mobiliario de las zonas comerciales.

Una viga de concreto de gran envergadura cedió parcialmente en el Terminal Internacional sin afectar el resto de la estructura.

Logística aérea paralizada: Los vuelos nacionales e internacionales fueron suspendidos, y desviados a varios aeropuertos alternos como el Aeropuerto Internacional Arturo Michelena de Valencia, el Aeropuerto de Palo Negro en Maracay y el Aeropuerto Internacional José Antonio Anzoátegui de Barcelona.

Terminales auxiliares temporales: Hubo que instalar, como contingencia, dos terminales auxiliares modulares de forma temporal en el estacionamiento del nivel 3 del aeropuerto; uno para vuelos nacionales y otro para vuelos internacionales. A partir del pasado 1º de septiembre empezaron a prestar servicio, recuperando el 25% de la operatividad aérea.

2.5.- Puerto de La Guaira

En vista de que el estudio original se refería a los accesos a Caracas y no al Centro Norte Costero de Venezuela, no se analizaron posibles daños al Puerto de La Guaira, el cual se vio también afectado por el sismo.

Entre los daños causados por el doble sismo del 24 de junio de 2026 estuvieron:

Daños en patios de almacenes y en el muelle de contenedores: Se reportaron fallas estructurales de consideración y agrietamientos severos a lo largo de los patios y almacenes de carga, así como en las instalaciones destinadas al muelle de contenedores en el que se observaron grúas descarriladas y presencia de licuación de suelos.

Muelle Norte: El muelle norte fue uno de los sectores más afectaos del Puerto de La Guaira, ya que sufrió agrietamientos profundos y hundimientos en su base como consecuencia del desplazamiento masivo de tierra y la licuación del suelo costero, lo que dejó la superficie de rodamiento parcialmente inestable, impidiendo la circulación de grúas móviles, montacargas y otros equipos

Inhabilitación de los sistemas de amarre y defensas: Las estructuras de atraque, incluyendo los bolardos de sujeción y los sistemas de defensa elástica del muelle, sufrieron desprendimientos o quedaron desalineados, impidiendo que buques comerciales de gran calado pudieran fondear de forma segura.

Estatus de recuperación: Las severas fallas antes descritas, obligaron a desviar los buques de carga hacia otros puertos del país. El muelle norte entró en una fase de reparaciones de emergencia y evaluaciones de habitabilidad. A mediados de agosto de 2026 las autoridades aduaneras anunciaron la reactivación operativa progresiva tras corregir los daños más severos en las líneas de atraque.

3.- CRECIMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES INFORMALES

Junto con la ciudad formal, han venido creciendo de manera informal los desarrollos habitacionales no controlados, acompañando en paralelo el crecimiento urbano de Caracas. Estos desarrollos informales surgen a partir de los años 40 del siglo XX y para comienzos de los años 90 ocupaban el 13,25% del total de la superficie urbanizada en el valle central y sector sureste (OCEI y Fundacomún, 1993).

En Caracas según el libro CABA, Cartografía de los barrios de Caracas 1966-2014 (Enlace Arquitectura y Grupo SSA, 2015), entre 1966 y 2014 se cuadruplicó el área de los barrios de 13,5 km2 a 43,3 km2, mientras que en las áreas urbanas formales solo se duplicó de 63,7 km2 a 135,7 km2. En términos de vivienda, las densidades son 3 y 4 veces mayores a la densidad recomendada por UN Hábitat para ciudades compactas. Más de la mitad de los barrios superan 400 habitantes por hectárea y alcanzan a ocupar el 60% del área, dejando poco espacio para el acceso al transporte público, vialidad, aseo urbano, servicios y equipamientos.

Según el estudio, actualmente existen 43.3 km2 de asentamientos espontáneos de un total de 180 Km2, pero el estudio muestra también que el 47% del total de los habitantes de la ciudad viven en barrios. Esto se debe a que los barrios tienen una mayor densidad habitacional (300 habitantes por hectárea) mientras que, en el resto de la ciudad la densidad es menor (100 a 120 habitantes por hectárea).

El crecimiento en espacio ocupado y en densidad habitacional de los barrios genera una mayor vulnerabilidad sísmica para los habitantes de Caracas. Estas construcciones informales se vienen desarrollando particularmente en la periferia de la ciudad y cercanas a las carreteras y autopistas que comunican a Caracas con el resto del país.

La experiencia del terremoto de Haití ocurrido 12 de enero de 2010, demostró lo frágil que pueden ser estas construcciones informales edificadas en laderas montañosas. El solo hecho de que existan barrios con viviendas colapsadas por un sismo, es suficiente como para que se colapse la circulación vial por una carretera ubicada al pie del barrio, aun cuando dicha vía no haya sufrido daños estructurales.

Sin embargo, el doblete sísmico, no afectó significativamente las viviendas informales de la Gran Caracas como ocurrió con el terremoto de Haití.

En el capítulo anterior describimos las afectaciones de las rutas alternas al Sistema Expreso Interurbano de Caracas, entre ellas las carreteras Caracas-La Guaira, Caracas-Guarenas-Guatire, Petare-Santa Lucía y Las Adjuntas-El Tambor.

La mayor afectación del doble sismo del 20 de junio de 2026 fue particularmente a edificaciones formales de alturas iguales o superiores a los 6 pisos, particularmente en el estado La Guaira en urbanizaciones como Catia La Mar, Playa Grande, Los Corales, y Caraballeda y en Caracas en las zonas de San Bernardino y Chacao.

Como indicamos con anterioridad, hasta el 17 de agosto, se habían reportado 190 edificios totalmente colapsados, 13.733 inmuebles con restricciones de acceso y 10.696 declarados en situación de alto riesgo.

4.- VULNERABILIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS

Aun cuando los servicios públicos de electricidad, teléfonos y acueductos no se vieron afectados por el terremoto de Caracas de 1967, durante el doble sismo del 24 de junio si hubo afectación en los servicios públicos.

4.1.- Vulnerabilidad en el suministro de energía eléctrica.

Con el doble sismo del 24 de junio 2026, la red de transmisión de 230 kV conectada al Sistema Interconectado Nacional, que cruza Caracas por el Ávila de Oeste a Este y baja paralela a la quebrada de Tacagua para llegar a Tacoa, siguiendo el mismo alineamiento de la falla Tacagua - El Ávila, no se vio afectada.

La ubicación de las Plantas Generadoras y su relación con la red de transmisión y el Sistema Interconectado Nacional, se observa en la Figura 3.

Sin embargo, el sismo provocó la pérdida de tensión y la caída de cableado de media y alta potencia por el bamboleo violento de las torres de transmisión ubicadas sobre crestas montañosas del Parque Nacional El Ávila. Varias de las torres principales que soportan la red de transmisión Arrecifes - La Guaira de 69 kV que alimenta las subestaciones de Catia La Mar y Caraballeda, se vieron afectadas.

Esta avería en las líneas de transmisión obligó al aislamiento de cargas y desconexión preventiva total de las subestaciones de Catia La Mar, Caraballeda y Tanaguarena que también habían sido dañadas por el sismo. La maniobra realizada evitó que los cortocircuitos causados por las líneas troncales caídas en la montaña generaran un colapso en cadena (efecto dominó) que apagara el resto de la región central o la capital.

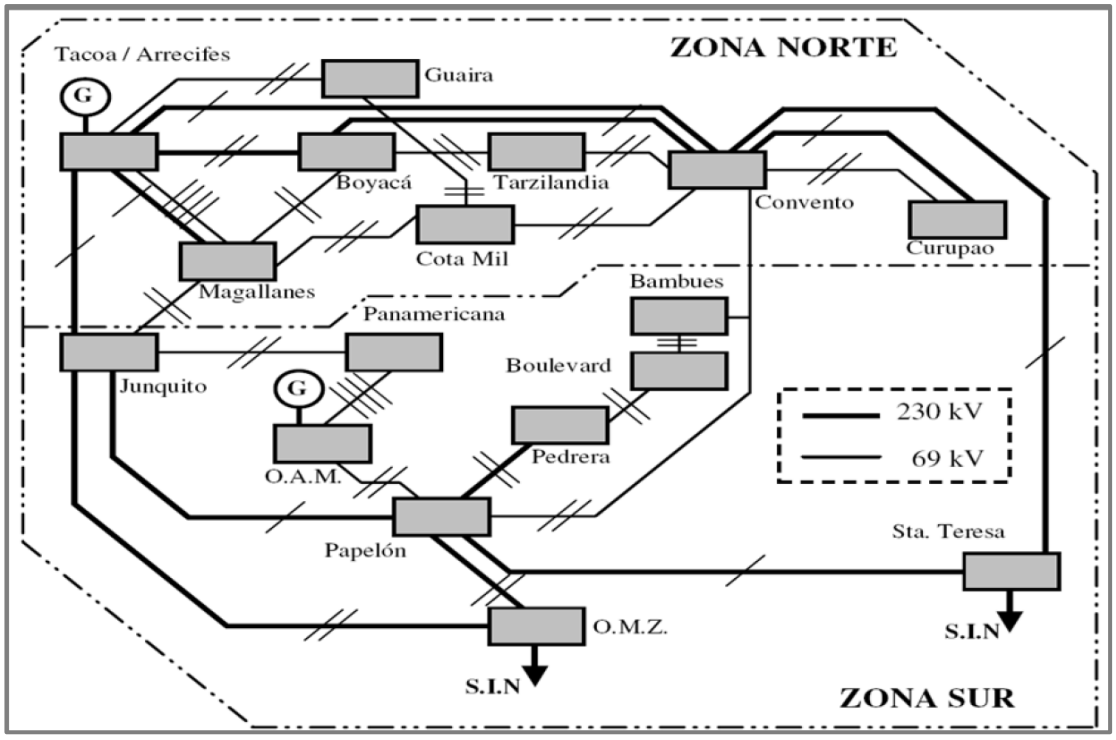


***Figura 3**: Plantas Generadoras y su relación con la red de transmisión.*

Fuente: De Andrade, 2001

Las principales zonas que quedaron sin energía eléctrica debido a los daños en las subestaciones y redes de transmisión fueron:

Catia La Mar: Fue una de las parroquias más afectadas. Sectores populosos como el urbanismo Luisa Cáceres de Arismendi y los bloques de la Gran Misión Vivienda Venezuela permanecieron totalmente a oscuras y sin telecomunicaciones durante los días posteriores al sismo.

Caraballeda y Tanaguarena: Zona con múltiples daños estructurales y colapsos de edificios, sufrieron un corte total del servicio.

Urimare: Reportó fallas generalizadas a raíz del colapso del tendido eléctrico.

Macuto y Camurí Chico: Además de verse incomunicadas por deslizamientos en la Avenida Soublette (Avenida La Playa), estas localidades experimentaron apagones prolongados por el daño en los circuitos locales.

Aeropuerto Internacional de Maiquetía: El apagón masivo e inmediato obligó al cierre total de las operaciones comerciales regulares. El aeropuerto enfrentó una desconexión crítica combinada con severos daños estructurales.

Puerto de La Guaira: En las instalaciones portuarias, el corte total de la alimentación eléctrica detuvo las cadenas logísticas y de suministro con la siguiente afectación:

Paralización de maquinaria pesada: Las grúas pórtico de carga de contenedores y los sistemas automatizados de aduanas e inventario quedaron completamente inactivos por la falta de energía eléctrica.

Cuello de botella portuario: La imposibilidad de desembarcar la carga comercial ordinaria generó un retraso en la descarga de buques.

Redirección de la carga: Para evitar el desabastecimiento de productos básicos, el Ministerio de Transporte se vio obligado a desviar de emergencia gran parte de las operaciones comerciales marítimas hacia el Puerto de Puerto Cabello en el estado Carabobo.

Recuperación forzada: Las autoridades priorizaron la energización del puerto mediante generadores de combustión interna para reactivar las grúas exclusivamente para la descarga de insumos médicos y maquinaria pesada de rescate. Actualmente, las grúas de carga han regresado paulatinamente a su actividad.

Corredores Eléctricos de Emergencia para servicios críticos

Se establecieron rutas de alimentación provisorias redirigiendo los bloques de energía disponibles en las líneas menos afectadas de la región central. Se priorizó de forma estricta el suministro intermitente hacia infraestructuras de vital importancia como:

Complejos Hospitalarios: Centros de salud que estaban operando al límite con generadores de combustión interna.

Aeropuerto Internacional de Maiquetía y Puerto de La Guaira: Puntos logísticos fundamentales para la llegada de las primeras brigadas de rescate e insumos de asistencia humanitaria internacional.

Las cuadrillas de la corporación eléctrica estatal, luego de una interrupción total de energía que duró tres días, lograron restituir progresivamente el servicio en los circuitos más críticos durante las semanas siguientes.

4.2.- Vulnerabilidad en el suministro de agua potable

El Acueducto Metropolitano de Caracas no se vio afectado, ni en la red de tuberías y subestaciones de bombeo, ni por falta de suministro eléctrico por el doblete sísmico del 24 de junio de 2026.

Sin embargo, el acueducto comunitario de la Urbanización Miranda cuyas fuentes de alimentación se originan en el Parque Nacional El Ávila, quedó fuera de servicio, debido a que el tanque de almacenamiento de 4 millones de litros ubicado en el Topo de Ayala a 1.300 msnm se fracturó por efectos del doble sismo del 24 de junio de 2024.

En el estado La Guaira, que fue el más afectado por el doble sismo del 24 de junio de 2026, las redes de distribución de agua colapsaron. Comunidades enteras del Sistema Este como Caribe, Tanaguarena y Caraballeda y del Sistema Oeste como Catia La Mar y Playa Grande pasaron semanas sin conectividad ni suministro por tuberías, dependiendo exclusivamente del abastecimiento de emergencia mediante camiones cisterna coordinados por planes estatales.

4.2.1.- Infraestructura hidráulica y zonas afectadas en el estado La Guaira

4.2.1.1.- Infraestructura hidráulica de agua potable.

El acueducto del estado La Guaira depende de numerosos sistemas y fuentes de captación, siendo la mayoría de ellos provenientes del Parque Nacional El Ávila. También tiene un aporte del Acueducto Metropolitano de Caracas. Ver Cuadro 1.

Cuadro 1*. Sistemas de suministro de agua potable del estado Vargas*

Indicador	Sistema	Valor
Capacidad operativa PTAP Picure	Oeste	(1.500 l/s 2010) (O l/s 2025)
Capacidad aducción Maya Picure (2010)	Oeste	1.150 l/s
Capacidad Aducción Maya-Picure (2025)	Oeste	450 l/s
Aporte Caracas–Litoral	Oeste-Central	80–100 l/s
Potencial Sistema Caracas–Litoral	Oeste-Central	~250 l/s
Capacidad sistema este Naiguatá	Este	(480 l/s 2010) (parcialmente FS)
Estación de bombeo principal	Este	Weekend G1-G3 (428 l/s)

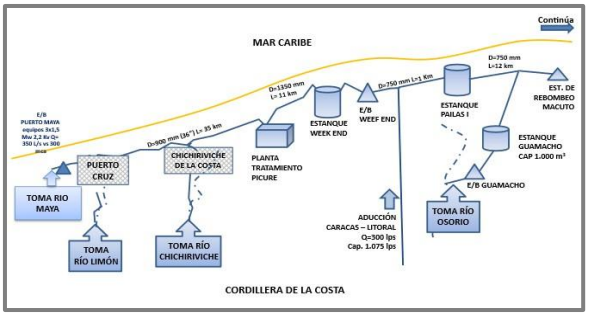
Fuente: Ing. Norberto Bausson con datos del Plan de Ordenación Urbanística del Estado Vargas (2005).

Según informó el Ing Norberto Bausson, presidente de la Asociación Venezolana de Ingenieros Hidráulicos en una conferencia dictada a la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat el 17 de agosto de 2026, el Sistema Litoral estaba operando al 40% de su capacidad operativa antes de ocurrir el evento sísmico de junio de 2026.

A continuación, se muestran los esquemas de aducción, tratamiento y distribución de agua potable, tanto del Sistema Oeste y Central, como del Sistema Central y Este

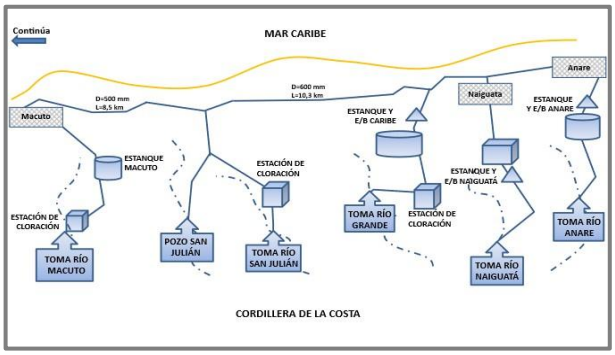
.

Sistema Oeste y Central



Esquema 1*. Esquema de suministro de agua potable Oeste y Central.*
Fuente: *Ing. Norberto Bausson*

Sistema Central y Este



Esquema 2*. Esquema de suministro de agua potable Central y Este.*

Fuente: *Ing. Norberto Bausson*

4.2.1.2.- Zonas afectadas en el estado La Guaira

Parroquia Caraballeda: Debido a que el acueducto quedó completamente desarticulado en sus fases de captación, tratamiento y bombeo, la población de Caraballeda pasó a depender en su totalidad de medidas de contingencia como camiones cisterna y plantas de tratamiento portátiles desplegadas por organizaciones humanitarias.

Parroquia Carayaca: Las ciudades costeras como Chichiriviche de la Costa quedaron incomunicadas por deslizamientos en la vía que afectaron también a las tuberías de aducción de agua potable y sufrieron un desabastecimiento crítico de agua potable, alimentos de primera necesidad y medicinas en los días posteriores al sismo.

Parroquia Carlos Soublette: En sectores como la avenida Soublette y comunidades aledañas como El Respiro en Mirabal, las tuberías principales sufrieron roturas masivas que generaron grandes botes de agua en la vía pública mientras los hogares se quedaban completamente secos.

Parroquia Catia La Mar: Las redes de distribución de agua potable sufrieron fracturas generalizadas. Instalaciones neurálgicas para Catia La Mar, como la Estación de Bombeo de Mamo, quedaron gravemente comprometidas.

Parroquia La Guaira: Los sismos fracturaron las redes de distribución de agua y afectaron directamente las estructuras de captación (diques-toma), tanques de almacenamiento y estaciones de bombeo clave del litoral guaireño.

Parroquia Macuto: El par sísmico dejó completamente inactiva la planta de tratamiento de aguas de Macuto (ubicada junto a Ivivar) y causó graves averías en el dique de La Veguita, provocando pérdida visible de agua.

Parroquia Maiquetía: Las tuberías matrices y los sistemas de distribución sufrieron fracturas severas. En Maiquetía, aunque muchas casas resistieron el temblor, los tanques plásticos azules que las familias utilizaba para almacenar agua de reserva se rompieron masivamente debido al movimiento sísmico.

Parroquia Naiguatá: Los sismos provocaron el colapso de sistemas de captación y afectaron gravemente a la planta de tratamiento de agua de Naiguatá, lo que interrumpió por completo el flujo normal de agua potable.

Parroquia Urimare: En el sector Mare, 30 metros de tubería de agua potable resultaron completamente fracturados por el movimiento telúrico.

En el Cuadro 2, se muestra la población y el número de viviendas afectadas por el doble sismo del 24 de junio de 2026 en las parroquias descritas con anterioridad. La población afectada suma 334.180 habitantes.

Cuadro 2*. Población y el número de viviendas afectadas*

Parroquia	Hogares	Población	Viviendas
Caraballeda	14.348	48.622	22.037
Carayaca	7.179	32.454	10.991
Carlos Soublette	8.262	30.525	9.351
Catia la Mar	22.490	85.366	27.325
La Guaira	5.363	19.162	6.385
Macuto	5.980	20.033	7.868
Maiquetía	8.617	31.647	10.256
Naiguatá	4.752	17.869	8.599
Urimare	12.745	48.502	16.560
Totales	**89.736**	**334.180**	**119.372**

Fuente: Ing. Norberto Bausson

Situación actual

Las zonas más afectadas que permanecen con fallas críticas de distribución y escasez en las parroquias golpeadas por el sismo son:

Caraballeda: Específicamente en las urbanizaciones Caribe y Tanaguarena, donde la falta de agua potable coincide con la inestabilidad de la energía eléctrica y demoliciones planificadas de estructuras en riesgo.

Catia La Mar y Macuto: Sectores donde el colapso de edificios ha complicado el acceso seguro a las redes internas de agua.

Playa Grande: Una de las urbanizaciones del oeste que reportó mayores daños generales en los servicios públicos.

4.2.1.3.- Infraestructura de Saneamiento

Contaminación del suministro: Al romperse de forma simultánea las tuberías de agua potable y las redes de aguas servidas, se produjo una contaminación cruzada inmediata del subsuelo, inhabilitando los pozos locales y aumentando drásticamente el riesgo sanitario.

Paralización de plantas de tratamiento: Instalaciones clave, como la planta de tratamiento de aguas servidas de Macuto, dejaron de operar por completo tras el sismo. Al no procesar los efluentes, los colectores principales sobrecargados han estado aliviando el caudal de aguas negras directo hacia la costa.

Vertido directo por fallas de bombeo: Las estaciones de bombeo de aguas servidas averiadas mecánicamente o sin suministro eléctrico, no pueden bombear los desechos hacia las rutas de descarga seguras. Esto ha provocado que las aguas negras corran por gravedad hacia las desembocaduras naturales de los ríos y quebradas, terminando de manera inmediata en el mar.

Playas críticamente contaminadas: reportes comunitarios recopilados en zonas como Playa el Yate y el Sector Caribe denuncian la presencia de lagunas estancadas de materia fecal y fuertes botes de aguas residuales que desembocan directo en el mar. Esto ha afectado las escuelas de surf y la pesca artesanal de subsistencia.

Carga bacteriológica: Organizaciones medioambientales locales (como el Proyecto Ambiental Vargas) han alertado que la franja comprendida entre Catia La Mar y Naiguatá presenta niveles sumamente peligrosos de la bacteria Escherichia coli y desechos fecales debido al flujo ininterrumpido de aguas cloacales sin tratar al mar.

4.3.- Vulnerabilidad en las telecomunicaciones

Los daños más comunes ante condiciones sísmicas son las rupturas de los cables enterrados, ya sea por la propagación de las ondas sísmicas, por el movimiento de fallas geológicas o por fallas del terreno (derrumbes, hundimientos, licuefacción).

En las estaciones de radio de microondas o de telefonía celular, la transmisión ocurre entre antenas colocadas en torres o sobre edificios. En algunos casos, por fallas de la fundación y daño de la estructura de la torre o del soporte de las antenas, se pierde la alineación entre las estaciones repetidoras, interrumpiéndose o deteriorándose la comunicación.

4.3.1.- Ruptura física del cable submarino de fibra óptica SAC.

El principal problema que se presentó producto del doble sismo del 24 de junio de 2026, fue la ruptura física del cable de fibra óptica del sistema submarino South American Crossing (SAC), operado por Cirion Technologies ocurrida a unos 1,8 kilómetros de la estación de amarre de Puerto Viejo en Catia La Mar, estado La Guaira.

Esta ruptura del cable de fibra óptica redujo aproximadamente un 50% la capacidad internacional de transmisión de datos del país, generando lentitud e intermitencia.

Para la reparación, se requirió el uso del buque cablero especializado Wave Sentinel y robots submarinos de alta precisión. Los equipos rescataron los extremos fracturados del lecho marino y unieron los filamentos de fibra mediante fusión láser a bordo.

Las autoridades confirmaron el restablecimiento total de la operación tras cumplirse los protocolos de prueba a finales de julio de 2026.

4.3.2.- Daños en redes locales de telefonía celular e internet en el estado La Guaira

El colapso de las telecomunicaciones en el estado La Guaira a partir del 24 de junio de 2026 fue crítico e inmediato, debido a que el epicentro del principal sismo (magnitud 7.5) se localizó a escasos 17 kilómetros de Catia La Mar.

El desplome de edificaciones y postes en sectores altamente golpeados (como Caraballeda y Catia La Mar) destrozó los cableados aéreos, las cajas de distribución y las redes de fibra óptica doméstica, dejando las amplias zonas del estado La Guaira totalmente incomunicadas.

Corte de energía: El sismo afectó también torres y redes de transmisión eléctrica de alta tensión, provocando un apagón masivo. Al quedarse sin electricidad, los nodos principales y las centrales locales de las operadoras consumieron rápidamente sus baterías de respaldo, apagando las celdas de telefonía móvil de empresas como Movistar, Digitel y CANTV.

Saturación.

Adicionalmente, durante los primeros minutos posteriores al sismo, las pocas líneas telefónicas que seguían activas, se colapsaron por completo debido a la alta demanda simultánea de miles de ciudadanos que intentaban llamar o enviar datos para reportar su estado a sus familias.

Las operadoras de telefonía e internet restablecieron de forma progresiva la señal celular en las semanas siguientes apoyándose en plantas eléctricas terrestres y en el desvío de tráfico.

4.4.- Vulnerabilidad en el manejo de los residuos y desechos sólidos.

No hubo daños en el sistema de recolección de residuos sólidos de la Gran Caracas.

En el caso del estado La Guaira, el doble sismo del 24 de junio de 2026 generó un colapso masivo en el sistema de gestión de residuos debido a la acumulación sin precedentes de más de 1,28 millones de toneladas de escombros y desechos sólidos.

Los daños estructurales en las vías interrumpieron el servicio ordinario de aseo urbano, por lo que hubo que implementar un

plan de contingencia inmediato, enfocado en contener los riesgos sanitarios y ambientales derivados del colapso de edificaciones.

5.- COLAPSO SISTÉMICO Y EL RESCATE DE LAS VÍCTIMAS

En los capítulos anteriores se analizaron las vulnerabilidades de accesos y servicios públicos, las cuales se reflejaron con mayor intensidad en el estado La Guaira, entre Catia La Mar y Caraballeda. En este sector del país se sumaron las vulnerabilidades causando un "colapso sistémico", ya que la interrupción del sistema eléctrico, garantizó el colapso de otros sistemas como telecomunicaciones y servicios de agua potable y saneamiento. A lo anterior hay que agregar la interrupción de circulación producto de los escombros de edificios colapsados y del colapso del puente San Julián, así como el cierre del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar y del Puerto de La Guaira.

5.1.- Ventana Dorada

A este "colapso sistémico" causado por el sismo del 24 de junio de 2026 se sumó el abandono institucional y el fallo logístico, dificultando aún más las labores de rescate de víctimas del terremoto particularmente en la fase crítica de los primeros días

Las primeras 72 horas (Ventana Dorada) representan la delgada línea entre la vida y la muerte y son precisamente las horas en las que el sistema de emergencia es más propenso a colapsar.

En el rescate de estructuras colapsadas existe una regla de oro: la ventana dorada es crucial. Después de este período, la probabilidad de encontrar personas con vida disminuye drásticamente. Ver Gráfico 1.

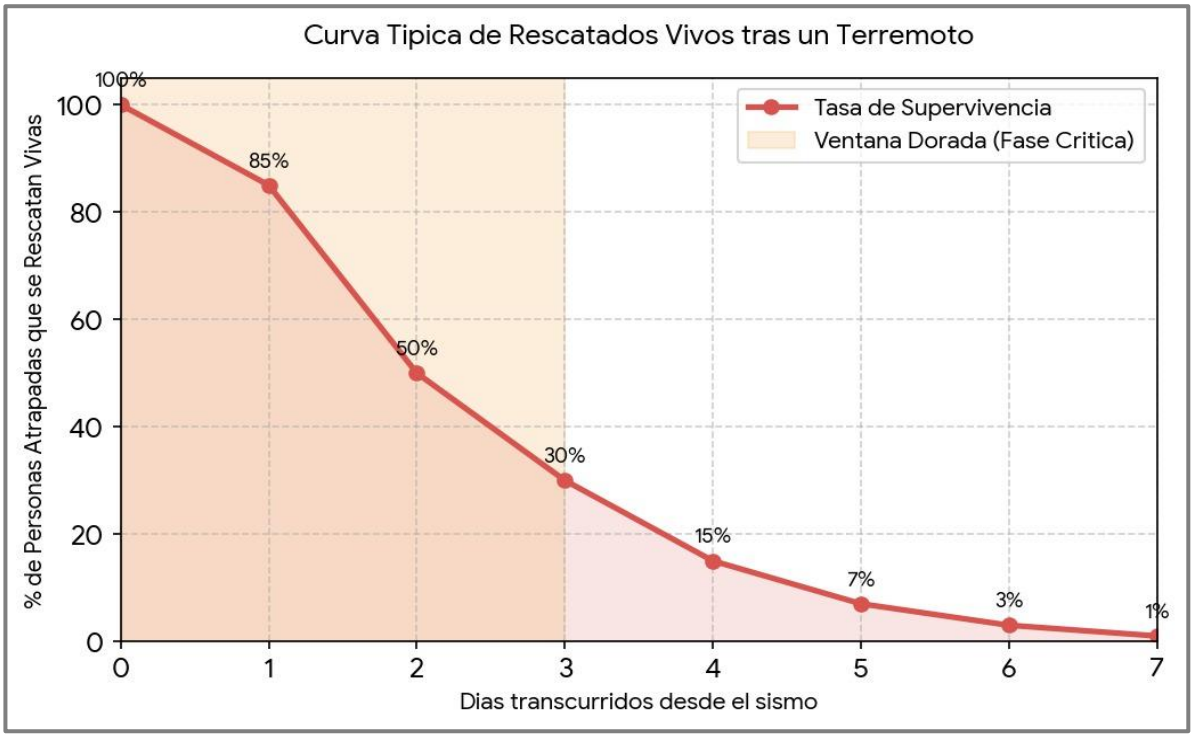


Grafico 1. *Ventana Dorada*

5.2.- Debilidad Institucional y la Respuesta Comunitaria

Cuando las instituciones fallan, la comunidad se ve obligada a dar un paso al frente, aunque sea a un costo muy alto. El sismo evidenció un aparato estatal debilitado y sin preparación para grandes catástrofes.

5.2.1.- Instituciones debilitadas: Una Protección Civil abandonada por el Estado y con mínima capacidad de acción, sumada a cuerpos de voluntarios disminuidos por la falta de apoyo gubernamental.

5.2.2.- Bomberos sin equipamiento: Los cuerpos de bomberos contaban con equipos obsoletos y carecían de personal especializado en técnicas avanzadas como BREC (Búsqueda y Rescate en Estructuras Colapsadas) y USAR (Búsqueda y Rescate Urbano). Tampoco disponían de camiones con cestas telescópicas para rescates en alturas, extrañando la icónica unidad conocida como la "jirafa" del Cuerpo de Bomberos de Caracas.

5.2.3.- Burocracia mortal: En lugar de facilitar la ayuda, el Estado impuso trabas burocráticas de registro a los grupos voluntarios de rescate debido a la inoperatividad previa de la Protección Civil.

5.2.4.- Respuesta comunitaria: Ante este vacío y la falta de apoyo eficiente de las fuerzas armadas, los verdaderos héroes de las primeras horas fueron los familiares y vecinos de las víctimas. Utilizando herramientas improvisadas, con nulo entrenamiento técnico y bajo un peligro inminente de nuevos derrumbes, lograron rescatar a decenas de personas en condiciones sumamente precarias.

6.- CONCLUSIONES FINALES

6.1.- Matriz de Resiliencia en Ingeniería e Infraestructura

Es urgente la toma de conciencia sobre la importancia de una posición proactiva frente al riego sísmico. Se hace imperativo un programa de reforzamiento estructural y de reubicación de viviendas identificadas en situación de peligro; así como la implementación de medidas orientadas a prohibir el desarrollo de nuevas viviendas informales, particularmente en sectores identificados como suelos de alto riesgo.

Se recomienda dar prioridad a los siguientes trabajos:

a) Terminar las obras de construcción del Viaducto Tacagua y del túnel Boyacá, así como construir el Distribuidor Macayapa para comunicar la autopista Caracas-La Guaira con la Avenida Boyacá, Catia y el Distribuidor La Araña.

b) Realizar las reparaciones y refuerzos estructurales pendientes por ejecutar en el viaducto La Cabrera, dando énfasis en reforzar el sistema de fundaciones de la estructura.

c) Evaluar la vulnerabilidad sísmica de los puentes y viaductos existentes para implementar programas de rehabilitación o refuerzo estructural, a fin de garantizar su seguridad.

d) Acometer un programa de rehabilitación y mejoramiento de barrios que garantice la estabilidad estructural de las viviendas, así como la recolección de las aguas residuales.

e) Realizar un estudio de las fallas de borde existentes en las carreteras Caracas-La Guaira, Caracas-Guarenas-Guatire y Las Adjuntas-El Tambor para proceder con su inmediata reparación.

f) Realizar evaluaciones sistemáticas de las fundaciones de las torres de transmisión y los respectivos mantenimientos en la red de transmisión y distribución del servicio eléctrico que alimenta la Gran Caracas y el litoral central.

g) Actualizar los planes maestros de aguas blancas y residuales del estado La Guaira.

h) Actualizar los proyectos de los embalses Maya y Naiguatá

i) Construir la nueva planta de tratamiento de aguas blancas de Picure

j) Rehabilitar las plantas de tratamiento de aguas blancas de Mamo y Naiguatá, así como de sus sistemas de bombeo.

k) Reconstruir la planta de tratamiento de aguas residuales de Punta Gorda y de su descarga submarina.

l) Reparar las estaciones de bombeo de aguas blancas y aguas residuales dañadas por el sismo

m) Llenado el embalse de Macarao cuya construcción se terminó el año 1999, pero nunca se llenó. Este embalse se diseñó como una solución para el abastecimiento de agua en condiciones de falla de los sistemas de bombeo procedentes de los valles del Tuy, ya que puede suministrar agua por gravedad a Caracas.

6.2.- Matriz de Resiliencia en Protocolos de Mando

La Protección Civil (Defensa Civil) debe ser modernizada y reforzada en base a los estándares internacionales del International Search and Rescue Advisory Group (INSARAG) de la Organización de Naciones Unidas.

6.2.1.- Mando y Autonomía. Establecer vía la Protección Civil, un Sistema de Comando de Incidencias (SCI) con descentralización operativa controlada. Las cuadrillas locales deben tener autorización para actuar en las primeras 72 horas sin esperar a Caracas.

6.2.2.- Entrenamiento e INSARAG. Implementar ciclos de entrenamiento periódico interinstitucional, estandarizando las competencias mínimas y aplicando protocolos INSARAG a todos los actores.

6.2.3.- Salud Mental Operacional. Integrar apoyo psicosocial pre, durante y post despliegue para rescatistas como protocolo estándar y obligatorio, previendo el trauma secundario.

6.3. El costo de la inacción.

La infraestructura no puede seguir diseñándose bajo esquemas de aislamiento de sistemas. El terremoto de 2026 demostró que la energía, las comunicaciones y el agua colapsan como un solo organismo.

Hay que hacer una transición inmediata de una "recuperación post desastre" a un paradigma de "resiliencia sistémica anticipada". Las prioridades geotécnicas, hidráulicas y estructurales deben ejecutarse antes del cierre del ciclo sísmico actual.

REFERENCIAS

AUDEMARD M., FRANCK A. Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela desarrollado por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas y USGS U.S. Geological Survey. (2000).

BAUSSON, NORBERTO. Conferencia sobre el Acueducto del estado La Guaira, dictada a la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat el 17 de agosto de 2026

CAPOBIANCO A., JOSÉ y HEREDIA T., JOSÉ V. Investigación geotécnica histórica y adecuación sísmica del Viaducto La Cabrera T001. Gobernación del estado Carabobo. Instituto Autónomo de Vialidad del estado Carabobo

CILENTO SARLI, ALFREDO. Sobre la vulnerabilidad urbana de Caracas. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, vol. 8, nº 3 (sept.-dic 2002), pp. 103-118.

CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL (CORPOELEC). Balances de mantenimiento correctivo y sustitución de componentes eléctricos en líneas críticas como Arrecifes-Aeropuerto, Tacoa y los circuitos vinculados a las subestaciones de Vargas

DE ANDRADE, L. Subestaciones de la Electricidad de Caracas. Plantas Generadoras y su relación con la red de transmisión (2001).

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J., PICARD, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Editorial Foninves, Tomo I.

INVITRAMI. Autopista Gran Mariscal de Ayacucho. Instituto de Vialidad y Transporte de Miranda. Revista Construcción (2007).

INVITRAMI. Instituto de Vialidad y Transporte del Estado La Guaira. Activación de planes de contingencia para despejar la infraestructura vial de la región costera severamente comprometida por el colapso del puente sobre el río San Julián.

ITALO SABATINO y MANUEL BAZZANI. Auto Activados pero aislados. El diagnóstico del voluntariado de rescate en el Terremoto de Venezuela de 2026

MANUEL GUACARÁN. Proyecto Ambiental Vargas. Informe sobre la contaminación de las playas del estado La Guaira por vertido de aguas residuales.

MENDOZA, JORGE S. y PÉREZ, OMAR J. Sismicidad y tectónica en Venezuela y áreas vecinas (1998).

NAIME, WAGDI. Conferencia: Actuaciones post-sismos del 24 de junio. Observaciones geotécnicas. Aspectos a ser considerados en los futuros estudios geotécnicos, dictada a la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat el 04 de septiembre de 2026.

URBANI, F. y M. OSTOS. 1989. El Complejo Ávila, Cordillera de la Costa

SILVA, ELISA. Libro CABA, Cartografía de los barrios de Caracas 1966-2014. Enlace Arquitectura y Grupo SSA, 2015

YEPES, ENDRINA. Reporte de la empresa venezolana de telecomunicaciones Thundernet C.A., sobre la avería del cable submarino de fibra óptica South American Crossing (SAC), propiedad de la empresa Cirion Technologies

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 343 – 353
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/183

RESILIENCIA Y RECUPERACIÓN FUNCIONAL DE INFRAESTRUCTURAS DE TELECOMUNICACIONES ANTE DESASTRES AMBIENTALES: UN ENFOQUE DE INGENIERÍA Y GOBERNANZA

José María de VIANA[1]

RESUMEN

El diseño convencional en ingeniería estructural y de telecomunicaciones, enfocado exclusivamente en salvaguardar la vida mediante la prevención del colapso físico de las obras, resulta insuficiente ante eventos destructivos de gran magnitud. La pérdida prolongada de los servicios digitales interrumpe la coordinación operativa, suprime la conciencia situacional y multiplica las pérdidas de vidas humanas durante las fases críticas de emergencia y estabilización. El presente trabajo examina la vulnerabilidad intrínseca de las redes móviles en Venezuela frente a amenazas geológicas e hidrometeorológicas recurrentes, fundamentando la necesidad técnica de garantizar su continuidad operativa antes, durante y después del impacto de una catástrofe. Se formaliza la evolución doctrinaria hacia el principio de Recuperación Funcional (Functional Recovery) sustentado en el marco conceptual 3R (Confiabilidad, Robustez y Resiliencia). Asimismo, se evalúan los cuatro pilares de innovación tecnológica que transforman las redes móviles contemporáneas frente a las plataformas de generaciones previas: enlaces troncales satelitales en órbita baja (LEO), virtualización y desagregación lógica de funciones de red (NFV/SDN), almacenamiento electroquímico en litio-ferrofosfato (LiFePO4) y microrredes híbridas renovables con capacidad de operación en modo isla. A partir de la evidencia forense de fallas globales y el desempeño de arquitecturas tácticas desplegables, se formulan recomendaciones técnicas y regulatorias orientadas a consolidar un hábitat construido resiliente y fundamentado en la estabilidad ininterrumpida de sus líneas de vida.

ABSTRACT

Resilience and Functional Recovery of Telecommunications Infrastructures against Environmental Disasters: A Multilayer Engineering and Governance Approach

Conventional design in structural and telecommunications engineering, primarily oriented toward life safety through the prevention of physical collapse, proves insufficient during major environmental disasters. Prolonged outages of digital services disrupt command coordination, eliminate situational awareness, and aggravate casualty rates during critical emergency and stabilization windows. This research analyzes the intrinsic vulnerability of mobile cellular networks across the Venezuelan territory under recurrent seismic and hydrometeorological hazards, establishing the imperative engineering requirement of ensuring operational continuity before, during, and after catastrophic impacts. A doctrinal transition toward Functional Recovery is formalized under the 3R conceptual framework (Reliability, Robustness, and Resilience). Furthermore, this study evaluates the four technological pillars distinguishing modern mobile architectures from legacy networks: Low Earth Orbit (LEO) satellite backhauling, logical disaggregation through network function virtualization and software-defined networking (NFV/SDN), advanced lithium iron phosphate (LiFePO4) energy storage, and hybrid renewable microgrids with islanding capability. Grounded in international forensic failure analyses and field validations of tactical deployable networks, engineering standards and public governance guidelines are established to guarantee a resilient built environment supported by uninterruptible critical lifelines.

Palabras clave: Resiliencia de infraestructuras, recuperación funcional, redes móviles de emergencia, amenazas socionaturales, soporte vital, constelaciones LEO.
Keywords: Infrastructure resilience, functional recovery, emergency mobile networks, socio-natural hazards, critical lifelines, LEO constellations.

Capítulo I: Venezuela, Territorio de Amenazas Naturales y la Necesidad de Permanencia del Servicio Móvil

La ubicación geográfica y la dinámica geodinámica de Venezuela sitúan al territorio nacional en una condición de exposición permanente a múltiples amenazas socionaturales de alta intensidad destructiva (CARTAYA et al. 2006). En el contexto sismotectónico, la interacción cinemática transcurrente dextral entre la placa del Caribe y la placa Sudamericana estructura un corredor de deformación cortical activo a lo largo de los sistemas de fallas de Boconó en la

[1] Ingeniero Civil. Profesor de la Universidad Católica Andrés Bello. Expresidente de Hidrocapital y de Movilnet. Miembro de la Comisión de Infraestructura de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Correo-e.: josedeviana@gmail.com

cordillera andina, San Sebastián en la cordillera de la Costa y El Pilar en la serranía oriental (OPS y CRID 1997, CARTAYA et al. 2006). Esta franja sismogénica coincide geográficamente con los núcleos de mayor concentración urbana, económica e industrial del país, donde habita más del 80% de la población nacional (CARTAYA et al. 2006, ANIH 2024). Simultáneamente, el régimen hidrometeorológico tropical expone las cuencas de montaña a precipitaciones extremas detonadas por la convergencia intertropical, ondas tropicales del Atlántico y vaguadas en altura (SUÁREZ RUIZ y PACHECO GIL 2008, CRUZ ROJA VENEZOLANA 2022). La interacción entre pendientes abruptas con mantos de alteración profunda y acumulaciones pluviométricas extraordinarias genera recurrentes procesos de remoción en masa, flujos de detritos y aludes torrenciales de rápida propagación en valles densamente poblados (CARTAYA et al. 2006, ANIH 2024).

La recurrencia histórica de eventos catastróficos en el país ilustra la fragilidad de las líneas de vida y los sistemas de transporte físico y digital. El 9 de julio de 1997, el Terremoto de Cariaco, con una magnitud sísmica de Mw 6,8 (mb 5,7) y una profundidad focal de 10 km en el estado Sucre, causó el colapso estructural de edificaciones de concreto armado en Cumaná y Cariaco, daños severos en centros de salud y la fractura de aducciones maestras de agua potable como la de la presa de Clavellinos, registrando entre 67 y 78 víctimas fatales, más de 500 heridos y 5.000 damnificados (OPS y CRID 1997). La destrucción de la planta externa y la saturación de los canales conmutados de telefonía fija y móvil aislaron la zona durante las horas iniciales, retrasando las operaciones de auxilio (OPS y CRID 1997).

Dos años más tarde, entre el 14 y el 16 de diciembre de 1999, la Tragedia de Vargas evidenció el poder devastador de los fenómenos hidrometeorológicos acoplados (SUÁREZ RUIZ y PACHECO GIL 2008). Un acumulado extraordinario de 911 mm de lluvia en la estación Maiquetía saturó los perfiles de meteorización en el macizo de El Ávila, desatando coladas de barro torrenciales que arrasaron la franja costera (SUÁREZ RUIZ y PACHECO GIL 2008). Las radiobases celulares y los cables troncales de fibra óptica tendidos en márgenes viales fueron destruidos mecánicamente, dejando al estado Vargas en una condición de incomunicación absoluta que paralizó la logística de evacuación (SUÁREZ RUIZ y PACHECO GIL 2008).

La vulnerabilidad en las cuencas andinas y valles centrales ha sido ratificada de manera sistemática en las décadas siguientes (CARTAYA et al. 2006). En febrero del 2005, una vaguada atmosférica estacionaria provocó el desbordamiento del río Mocotíes en el estado Mérida, anegando con flujos torrenciales las poblaciones de Santa Cruz de Mora, Tovar, Bailadores y Zea, dejando decenas de fallecidos y miles de viviendas destruidas junto al corte de los servicios eléctricos y de telecomunicaciones Entre la noche del 23 y la madrugada del 24 de agosto de 2021, las intensas precipitaciones provocaron nuevamente el desbordamiento del río Mocotíes y múltiples deslaves en la región, afectando gravemente al estado Mérida —en especial al municipio Tovar y a otras localidades del Valle del Mocotíes

Posteriormente, el 8 de octubre de 2022, la combinación de la Onda Tropical N° 41 con una vaguada en altura descargó 108 litros por metro cuadrado en pocas horas sobre el estado Aragua, detonando el deslave de Las Tejerías tras el desbordamiento simultáneo de las quebradas Los Patos y Curiepe (ALIANZA REBELDE INVESTIGA 2022, CRUZ ROJA VENEZOLANA 2022). La riada de lodo y bloques rocosos destruyó la infraestructura urbana e industrial, provocando entre 36 y 50 víctimas fatales, 56 desaparecidos y el colapso de 800 viviendas, en un escenario donde la ausencia de conectividad móvil impidió la difusión oportuna de alertas aguas abajo y complicó las tareas iniciales de salvamento (CRUZ ROJA VENEZOLANA 2022).

Los análisis prospectivos y ejercicios de contingencia subrayan la magnitud potencial de los impactos esperados en el país (CÁRITAS DE VENEZUELA 2006, OPS y OMS 2006). Los balances oficiales informados por las autoridades gubernamentales situaron la cifra de víctimas en más de 1.700 personas fallecidas, 5.034 heridos, más de 15.866 damnificados albergados, el colapso de centros asistenciales de alta complejidad, la paralización del Metro de Caracas y la clausura operativa del Aeropuerto Internacional de Maiquetía (OPS y OMS 2006, REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA 2006). En tales circunstancias, la destrucción de puentes y carreteras convierte a las comunicaciones móviles en el único vector funcional viable para coordinar el mando institucional y la ayuda humanitaria (CÁRITAS DE VENEZUELA 2006).

La recurrencia descrita demuestra que los servicios de telecomunicaciones móviles no pueden ser concebidos como simples utilidades comerciales o de entretenimiento, sino como el soporte vital primario de la sociedad organizada (CISA 2023). La permanencia del servicio resulta imperativa a lo largo de las tres etapas de la gestión de desastres:

En la fase previa al evento catastrófico, las redes de datos móviles sustentan la recolección telemétrica de redes sismológicas, pluviométricas y de nivel de cauces, canalizando variables críticas hacia los centros de alerta temprana (CARTAYA et al. 2006). Durante el impacto directo, la telefonía móvil constituye la única vía a disposición de las víctimas para informar su paradero y estado, transmitir coordenadas exactas y permitir que los comités de operaciones de emergencia organicen las rutas seguras de penetración y el despliegue de los primeros respondedores (WETTERWALD et al. 2016, CISA 2023).

En la etapa posterior al evento, la estabilidad del servicio móvil determina la efectividad en la administración de refugios temporales y centros de triaje médico (CÁRITAS DE VENEZUELA 2006, OPS y OMS 2006). De igual forma, sustenta la aplicación de protocolos de ingeniería forense de emergencia, tales como la Evaluación Rápida de Daños en Edificaciones normalizada por la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH 2024). A través de dispositivos móviles, los inspectores estructurales clasifican la habitabilidad

de las construcciones mediante etiquetas normalizadas (verde para inmuebles habitables, amarilla para acceso restringido y roja para estructuras inhabitables con riesgo inminente de colapso) y transmiten los formularios a los puestos de mando en tiempo real (ANIH 2024). Esta transmisión digital inmediata previene la reocupación de inmuebles inestables ante réplicas sísmicas, orienta el acordonamiento perimetral en fallas geológicas activas y coordina la suspensión selectiva del suministro de gas o electricidad para mitigar incendios secundarios (ANIH 2024).

Tabla 1. *Registro histórico y prospectivo de eventos socionaturales destructivos en Venezuela y su afectación sobre infraestructuras críticas de telecomunicaciones.*

Evento Histórico y Fecha	Vector Físico Detonante	Afectación Registrada en Infraestructuras Críticas	Consecuencias Humanas y Operativas	Fuente Documental Primaria
Terremoto de Cariaco (09/07/1997)	Sismo superficial de Mw 6,8 (mb 5,7), profundidad focal de 10 km.	Destrucción de edificaciones de concreto, viviendas y fractura de acueductos.	67 a 78 víctimas fatales, >500 heridos y 5.000 damnificados; retraso en auxilio externo.	OPS y CRID (1997)
Tragedia de Vargas (14-16/12/1999)	Precipitaciones récord con 911 mm acumulados en 72 horas.	Destrucción masiva de redes de transmisión, radiobases celulares y vialidad costera.	Incomunicación territorial absoluta, pérdidas humanas masivas y daños materiales incalculables.	SUÁREZ RUIZ y PACHECO GIL (2008)
Vaguada del Valle del Mocotíes (Febrero 2005)	Vaguada estacionaria con lluvias continuas de varios días.	Desbordamiento fluvial, colapso de puentes, redes eléctricas y centrales locales.	Decenas de fallecidos; poblaciones de Santa Cruz de Mora y Tovar aisladas por vía terrestre y digital.	TRAGEDIAS POR COLADAS DE BARRO... (s.f.)
Alud Torrencial de Tovar (Agosto 2021)	Lluvias convectivas locales de extrema intensidad horaria.	Arrastre de postes de telecomunicaciones y descalce de fundaciones de radiobases.	Pérdidas humanas, corte de datos e interrupción de la cadena de respuesta técnica en el valle.	TRAGEDIAS POR COLADAS DE BARRO... (s.f.)
Deslave de Las Tejerías (08/10/2022)	Precipitación crítica de 108 mm (Onda Tropical N° 41).	Destrucción mecánica de cables de fibra óptica y anegamiento de estaciones base.	36 a 50 fallecidos, 56 desaparecidos, 800 casas afectadas; paralización de coordinación inicial.	ALIANZA REBELDE INVESTIGA (2022), CRUZ ROJA VENEZOLANA (2022)
Escenario Sísmico Centro-Norte (24/06/2006)	Sismos concurrentes de magnitudes Mw 7,3 y Mw 7,5.	Daños en más de 2.500 estructuras, cierre de Maiquetía y parálisis del Metro de Caracas.	1.719 fallecidos, 5.034 heridos, 15.866 desplazados; Decreto N° 5.364 de Emergencia Nacional.	OPS y OMS (2006), REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (2006)

Capítulo II: Innovación Tecnológica en Redes Móviles como Paradigma de Resiliencia en Zonas de Riesgo

Las redes celulares de generaciones anteriores (2G, 3G y 4G) fueron diseñadas bajo modelos topológicos centralizados y dependientes de infraestructura física rígida en tierra. Los enlaces de transporte troncal (backhaul) dependían exclusivamente de cableados de cobre, fibra óptica tendida en ductos vulnerables a deformaciones del suelo o radioenlaces terrestres de microondas montados en torres sin redundancia espacial (GUPTA et al. 2024, STEVENS et al. 2024). Asimismo, el procesamiento de las señales se ejecutaba en equipos físicos dedicados e integrados (Funciones de Red Físicas o PNF), lo que causaba que la caída estructural de un centro de conmutación dejara sin servicio a toda la región dependiente (ETSI 2015). Los esquemas de respaldo energético descansaban en bancos de baterías de plomo-ácido (VRLA), caracterizadas por su escasa densidad de energía, degradación térmica acelerada y una autonomía limitada a lapsos de 3 a 8 horas, complementadas por generadores diésel que se apagaban por desabastecimiento de combustible ante el bloqueo vial (ITU-T 2020, CISA 2023).

Frente a estas limitaciones estructurales, la ingeniería contemporánea ha reformulado el paradigma operativo hacia la Resiliencia por Diseño (*Resilience-by-Design*) (ALVES et al. 2020, CISA 2023). En zonas catalogadas como de alto riesgo socionatural, las redes móviles de última generación implementan esquemas descentralizados capaces de anticipar fallas, operar en condiciones parcialmente degradadas sin interrupción de servicios esenciales y ejecutar mecanismos de autorrecuperación dinámica (ETSI 2015). Esta transformación

estructural se sustenta en cuatro pilares tecnológicos de innovación:

El primer pilar lo constituye el despliegue de enlaces troncales mediante mega constelaciones satelitales en Órbita Terrestre Baja (LEO), tales como Starlink o Kuiper, equipadas con enlaces ópticos intersatelitales (ISL) (GUPTA et al. 2024, ORBYNEXA 2024). A diferencia de los satélites geoestacionarios tradicionales (GEO) ubicados a 36.000 km sobre el ecuador, cuyas distancias de propagación imponen retardos de ida y vuelta de 600 a 800 ms y anchos de banda sumamente restringidos y costosos (CHANG et al. 2013, ABDALLA 2025), los satélites LEO operan entre 500 y 1.000 km de altitud (STEVENS et al. 2024). Esta reducción física disminuye la latencia de transmisión en hasta dos órdenes de magnitud y entrega capacidades multimegabit de alta velocidad (COOMANS et al. 2024, GUPTA et al. 2024). Al integrarse como canales automáticos de respaldo (failover) en radiobases terrestres, las constelaciones LEO aseguran la supervivencia instantánea de la estación cuando los cables subterráneos de fibra óptica son seccionados por deslizamientos o fallas geológicas (STEVENS et al. 2024).

El segundo pilar reside en el desacoplamiento lógico y la virtualización de las arquitecturas celulares a través de la Virtualización de Funciones de Red (NFV), las Redes Definidas por Software (SDN) y la Nube de Acceso de Radio (C-RAN) (ETSI 2015, WETTERWALD et al. 2016). Al separar el software de control de las plataformas de hardware subyacente, la infraestructura adquiere capacidades de autorrecuperación (self-healing) (ETSI 2015). Si un servidor o nodo físico es destruido durante un sismo, el plano de control migra en caliente las funciones de red virtualizadas (VNFs) hacia nodos alternos en milisegundos, restableciendo el enrutamiento sin intervención física (ETSI 2015). De forma simultánea, las capacidades de particionamiento dinámico de red (network slicing) gestionadas mediante SDN permiten reservar porciones de ancho de banda exclusivas e inmunes a la congestión pública para los organismos de primera respuesta y seguridad ciudadana (WETTERWALD et al. 2016, TERCERO LOZANO et al. 2024).

El tercer pilar abarca la transición electroquímica hacia bancos de baterías de Litio-Ferrofosfato (LiFePO4) gestionados mediante Sistemas Inteligentes de Gestión de Baterías (BMS), conforme a la Recomendación ITU-T L.138 (ITU-T 2020, CISA 2023). La química de LiFePO4 ofrece alta densidad volumétrica y estabilidad estructural intrínseca, anulando el riesgo de embalamiento térmico (thermal runaway) en ambientes con temperaturas elevadas (ITU-T 2020). Su capacidad para admitir descargas profundas superiores al 90% sin pérdida prematura de capacidad de ciclo, combinada con velocidades de recarga acelerada, supera las debilidades de los antiguos bancos de plomo-ácido (ITU-T 2020). A través de telemetría digital continua, el BMS monitorea de forma remota el Estado de Carga (SOC) y el Estado de Salud (SOH) de cada celda, advirtiendo fallas inminentes y garantizando disponibilidad energética confiable (ITU-T 2020, CISA 2023).

El cuarto pilar consiste en el despliegue de Microrredes Híbridas de Energía Renovable (REHS) acopladas a Sistemas de Almacenamiento Energético en Baterías (BESS), diseñadas para operar de manera autónoma en «modo isla» (islanding) (CISA 2023). Mediante la integración de paneles solares fotovoltaicos, microgeneradores eólicos y controladores inteligentes, la radiobase se desacopla de la red de distribución eléctrica comercial durante eventos destructivos (CISA 2023). Al optimizar el uso de fuentes solares y almacenamiento en litio, el consumo de combustible diésel se reduce a un mínimo residual o de emergencia, extendiendo la supervivencia operativa continua del sitio celular sin requerir reabastecimiento logístico por vía terrestre (CISA 2023).

La convergencia de estos avances tecnológicos transforma el concepto de infraestructura pasiva en una red adaptativa y autónoma (ALVES et al. 2020, NEIGLOBE NETWORKS 2024). En escenarios donde las comunicaciones troncales terrestres colapsan, las radiobases evolucionadas adoptan capacidades de computación en el borde (Multi-access Edge Computing o MEC), conformando «Islas de Resiliencia» capaces de procesar tráfico local, registrar usuarios provisionalmente y sostener enlaces de emergencia entre brigadistas aun en aislamiento total respecto al núcleo central de red (ALVES et al. 2020, NEIGLOBE NETWORKS 2024).

Tabla 2. *Comparación paramétrica entre redes celulares convencionales y arquitecturas móviles resilientes de última generación.*

Parámetro Operativo	Redes Celulares Tradicionales (Generaciones 2G/3G)	Redes Móviles Resilientes Contemporáneas	Estándar o Referencia Técnica
Topología de Backhaul	Conexión física rígida por fibra terrestre o microondas en cadena sin redundancia espacial.	Backhaul híbrido multicapa con conmutación automática (*failover*) a mega constelaciones LEO.	GUPTA et al. (2024), STEVENS et al. (2024)
Latencia Satelital	Elevada latencia en órbita geoestacionaria (600 a 800 ms), inviable para flujos tácticos en tiempo real.	Reducción de hasta dos órdenes de magnitud (inferior a 40 ms) mediante órbitas bajas.	CHANG et al. (2013), COOMANS et al. (2024)
Arquitectura de Red	Funciones de red físicas fijadas rígidamente a plataformas de hardware propietario (PNF).	Virtualización completa (NFV, SDN y C-RAN) con autorrecuperación dinámica en milisegundos.	ETSI (2015)

Parámetro Operativo	Redes Celulares Tradicionales (Generaciones 2G/3G)	Redes Móviles Resilientes Contemporáneas	Estándar o Referencia Técnica
Priorización de Tráfico	Enrutamiento estático con saturación y bloqueo generalizado durante situaciones de pánico.	Particionamiento dinámico (*network slicing*) priorizado para canales de mando y rescate.	WETTERWALD et al. (2016), TERCERO LOZANO et al. (2024)
Almacenamiento Energético	Baterías de plomo-ácido (VRLA), baja tolerancia a descargas profundas y degradación térmica.	Baterías LiFePO4 bajo norma ITU-T L.138 con BMS y telemetría de monitoreo de SOC y SOH.	ITU-T (2020), CISA (2023)
Autonomía en Contingencia	3 a 8 horas de baterías; grupos electrógenos vulnerables al bloqueo vial en 24 a 72 horas.	Microrredes híbridas en modo isla con autonomía energética extendida de 10 a más de 17 días continuos.	CISA (2023)
Continuidad en Aislamiento	Inoperatividad total de la celda al interrumpirse la comunicación con el centro de conmutación.	Operación autónoma en el borde mediante MEC («Islas de Resiliencia») para tráfico local.	ALVES et al. (2020), NEIGLOBE NETWORKS (2024)

Capítulo III: Evolución Doctrinaria y el Marco Conceptual 3R: De la Preservación de la Vida a la Recuperación Funcional

Durante décadas, la ingeniería estructural y el diseño sismorresistente han fundamentado sus exigencias en el principio de Preservación de la Vida (*Life Safety*) (EVANS y MCGHIE 2011, PESCAROLI y ALEXANDER 2016). La filosofía central de los códigos normativos ha consistido en dotar a las estructuras de suficiente resistencia y ductilidad para absorber la energía inducida por el sismo de diseño, evitando el colapso gravitacional total a costa de aceptar deformaciones inelásticas y daños severos en elementos resistentes y no estructurales (EVANS y MCGHIE 2011). Si bien este enfoque garantiza la evacuación y reduce la mortalidad directa durante el movimiento sísmico, la experiencia técnica acumulada demuestra que resulta insuficiente tratándose de infraestructuras críticas y líneas de soporte vital (PESCAROLI y ALEXANDER 2016).

Una estación de telecomunicaciones o una central de datos puede conservar su integridad estructural básica y permanecer en pie tras un sismo, pero quedar completamente fuera de servicio debido al volcamiento de bastidores de control, rotura de acometidas eléctricas, desacoplamiento de bandejas de cables o pérdida de enlaces por desalineación de antenas direccionales (EVANS y MCGHIE 2011, ALVES et al. 2020). La inoperatividad funcional de las telecomunicaciones desencadena fallas en cadena en otros servicios públicos y priva a la población de asistencia en el lapso posterior al desastre, multiplicando las pérdidas humanas y materiales (PESCAROLI y ALEXANDER 2016).

Esta contradicción ha impulsado una transformación doctrinaria hacia el principio de Recuperación Funcional (Functional Recovery) (ALVES et al. 2020, CISA 2023). Bajo este enfoque, las obras de infraestructura crítica deben ser calculadas, diseñadas y construidas para preservar o restablecer sus funciones esenciales dentro de un umbral temporal tolerable posdesastre (PESCAROLI y ALEXANDER 2016, ALVES et al. 2020). La recuperación funcional desplaza el concepto pasivo de supervivencia física hacia la continuidad activa del servicio, estructurándose sobre el marco conceptual 3R (ALVES et al. 2020):

La **Confiabilidad** (*Reliability*) representa el desempeño nominal exento de errores de los componentes de hardware, enlaces de transmisión y plataformas lógicas bajo regímenes ambientales y operacionales habituales, garantizando disponibilidades de servicio continuo acordes con el estándar de «cinco nueves» (99,999%) (ETSI 2015, ALVES et al. 2020).

La Robustez (Robustness) constituye la capacidad intrínseca de los elementos estructurales, envolventes y apoyos electromecánicos para absorber y soportar sobrecargas dinámicas calculadas —tales como aceleraciones espectrales pico, empujes hidrodinámicos por crecidas o presiones de viento ciclónico— sin sufrir fracturas, fallas frágiles ni colapsos mecánicos (EVANS y MCGHIE 2011, PESCAROLI y ALEXANDER 2016).

La **Resiliencia** (*Resilience*) define la propiedad adaptativa del sistema en su conjunto para absorber perturbaciones imprevistas que excedan los límites de diseño, experimentar una degradación elegante del servicio, activar de forma inmediata mecanismos autónomos de contingencia y reconstituir los niveles nominales de operación en plazos reducidos (PESCAROLI y ALEXANDER 2016, ALVES et al. 2020).

Capítulo IV: Soporte Vital e Interdependencia Sistémica de las Líneas de Vida

Las telecomunicaciones contemporáneas han trascendido la condición de sector aislado para consolidarse como la meta-infraestructura o «sistema nervioso central» que gobierna la operatividad del conjunto de líneas de soporte vital del hábitat moderno (PESCAROLI y ALEXANDER 2016, CISA 2023). Los centros hospitalarios y las redes de generación y

transmisión eléctrica dependen críticamente del intercambio continuo de paquetes de datos y de la telemetría remota para sostener sus funciones básicas (CISA 2023, ABDALLA 2025).

Entre el sistema eléctrico de potencia y las redes celulares de telecomunicaciones existe un acoplamiento bidireccional que, en situaciones de catástrofe, desencadena un bucle destructivo en cascada (EVANS y MCGHIE 2011, PESCAROLI y ALEXANDER 2016). Cuando un sismo mayor o un alud torrencial derriba las líneas de transmisión eléctrica de alta y media tensión, las radiobases celulares conmutan de forma automática a sus fuentes de energía de respaldo (EVANS y MCGHIE 2011). En aquellas instalaciones no provistas de sistemas avanzados de microgeneración, los bancos de baterías tradicionales agotan su carga produciendo la desconexión simultánea de extensas zonas de cobertura (EVANS y MCGHIE 2011, CISA 2023).

A partir de ese instante se activa el ciclo de falla inversa: sin red móvil operativa, los centros de despacho de las empresas eléctricas quedan ciegos ante la pérdida de telemetría de sus subestaciones y pierden la comunicación con sus cuadrillas de reparación en campo (PESCAROLI y ALEXANDER 2016, ABDALLA 2025). La imposibilidad de coordinar la logística de transporte de combustible y priorizar los trabajos en circuitos averiados retrasa la restitución del servicio eléctrico generalizado, lo que a su vez profundiza y prolonga el apagón del sistema celular (EVANS y MCGHIE 2011, CISA 2023).

La anulación de las comunicaciones móviles lesiona la capacidad de respuesta humanitaria e institucional en cuatro dimensiones fundamentales (BANCO MUNDIAL y UIT s.f., PESCAROLI y ALEXANDER 2016): En el plano de las decisiones estratégicas, los comités de crisis y comando quedan privados de información agregada en tiempo real para dimensionar el siniestro (BANCO MUNDIAL y UIT s.f.). En el nivel logístico y territorial, los reportes de daños, necesidades de medicamentos y colapso de vías no alcanzan las salas situacionales (CÁRITAS DE VENEZUELA 2006, HELP.NGO 2024). En la dimensión de la conciencia situacional táctica, los equipos de bomberos y defensa civil operan de forma aislada, careciendo de cartografía georreferenciada de riesgos o coordenadas de sobrevivientes (WETTERWALD et al. 2016, ANIH 2024). Finalmente, en la esfera comunitaria, la población pierde el acceso a las líneas de emergencia (911) y a las directrices oficiales de seguridad, desatando pánico e impidiendo evacuaciones ordenadas (UIT s.f.).

Este colapso cobra especial gravedad durante las denominadas «Horas Doradas», correspondientes a las primeras 24 a 48 horas posteriores al evento (PESCAROLI y ALEXANDER 2016, HELP.NGO 2024). La experiencia internacional y nacional documenta que la probabilidad de extraer víctimas con vida en estructuras colapsadas o áreas anegadas disminuye drásticamente con cada hora transcurrida (OPS y OMS 2006, HELP.NGO 2024). La disponibilidad ininterrumpida de enlaces móviles de banda ancha durante este intervalo resulta decisiva para transmitir imágenes aéreas desde drones térmicos, coordinar intervenciones de telemedicina sobre pacientes traumatizados y desplegar modelos tridimensionales de escombros que guíen el apuntalamiento mecánico (ANIH 2024, FIGARO et al. 2026).

Capítulo V: Análisis Forense de Mecanismos de Falla en Cascada ante Eventos Destructivos

El análisis retrospectivo de catástrofes ambientales permite categorizar los mecanismos físicos, mecánicos y electromagnéticos que inducen la parálisis de las redes de comunicaciones móviles (EVANS y MCGHIE 2011, PESCAROLI y ALEXANDER 2016). Desde el punto de vista mecánico, los movimientos tectónicos a lo largo de planos de falla, los asentamientos diferenciales de suelo y los flujos de detritos generan esfuerzos de corte y tracción que exceden la resistencia última de los ductos subterráneos de fibra óptica y los anclajes de torres (CARTAYA et al. 2006, EVANS y MCGHIE 2011). Adicionalmente, las aceleraciones sísmicas horizontales inducen vibraciones armónicas que fracturan soportes de antenas y alteran la orientación geométrica de los radioenlaces de microondas, quebrando la conectividad troncal por pérdida de alineación en la línea de vista (EVANS y MCGHIE 2011, ALVES et al. 2020).

En el ámbito electromagnético, las perturbaciones atmosféricas extremas inducen una severa atenuación por lluvia (rain fade) (SAMAD et al. 2021). De acuerdo con las formulaciones físicas establecidas en las Recomendaciones ITU-R P.618 e ITU-R P.838, las gotas de agua en regímenes de precipitación torrencial actúan como centros de absorción y dispersión dieléctrica de las ondas electromagnéticas a frecuencias superiores a los 10 GHz (SAMAD et al. 2021). Durante tormentas convectivas severas, vaguadas y huracanes, las bandas de microondas y enlaces satelitales convencionales que operan en rangos Ku (12–18 GHz) y Ka (26–40 GHz) experimentan una reducción drástica en la relación señal a ruido, traduciéndose en una pérdida de capacidad de transferencia de datos de entre un 37% y un 50% (SAMAD et al. 2021, COOMANS et al. 2024). Esta degradación ocurre precisamente en los instantes de mayor intensidad pluvial, anulando el tráfico satelital convencional (SAMAD et al. 2021). Por el contrario, los enlaces que operan en rangos de frecuencia inferiores a 10 GHz, tales como la Banda C (4–8 GHz), demuestran una disponibilidad de enlace superior al 99,9% bajo las condiciones de precipitación más severas (CHANG et al. 2013, SAMAD et al. 2021).

Tabla 3. *Mecanismos físicos de falla, vulnerabilidad electromagnética e impacto en telecomunicaciones documentados en desastres mayores a escala global.*

Evento Histórico y Ubicación	Vector de Amenaza Físico	Mecanismo Primario de Falla en Infraestructura	Impacto Específico en Telecomunicaciones	Referencia Documental
Maule, Chile (2010)	Sismo Mw 8,8 y tsunami costero.	Colapso del Sistema Interconectado Central; agotamiento de bancos de baterías en 3 a 8 horas.	Aislamiento interregional; imposibilidad de coordinar suministro de diésel e inspección eléctrica.	EVANS y MCGHIE (2011)
Tohoku, Japón (2011)	Megaterremoto Mw 9,0-9,1 y tren de olas.	Anegamiento por agua marina de cuartos de potencia, corte de fibra óptica en puentes colapsados.	Más de 9.000 estaciones base fuera de servicio; aislamiento de centros de evacuación.	ITU-T y NTT (2015), SAKANO et al. (2019)
Katrina y Sandy, EE. UU. (2005 / 2012)	Vientos con fuerza de huracán e inundaciones de marea.	Inundación de cuartos de conmutación en sótanos; colapso de mástiles y falta de interoperabilidad.	Retrasos críticos en evacuación médica y rescate humanitario en zonas costeras.	CHANG et al. (2013), CISA (2023)
Amatrice y Emilia-Romagna, Italia (2016 / 2023)	Sismo intraplaca / Lluvias torrenciales continuas.	Cizallamiento de fibras troncales en pasos de montaña / Destrucción de armarios de distribución por lodo.	Localidades montañosas incomunicadas por días; bloqueo de operaciones de rescate acuático.	PESCAROLI y ALEXANDER (2016)
Hunga Tonga (2022)	Erupción volcánica submarina y tsunami.	Desplazamiento del lecho oceánico con fractura del único cable óptico submarino de interconexión.	Desconexión digital absoluta de la nación insular durante cinco semanas; ceguera humanitaria.	HELP.NGO (2024), HUGHES (2024)
Helene y Milton, EE. UU. (2024)	Huracanes mayores de categorías 4 y 5.	Destrucción simultánea de la red de media tensión, derribo de torres celulares y bloqueo vial.	Más de 100.000 personas incomunicadas; activación de emergencia de mensajería satelital directa.	ECC (2006), ORBYNEXA (2024)

Capítulo VI: Consideraciones de Ingeniería Estructural, Energética y Lógica para la Continuidad Operativa

La materialización de redes resilientes demanda integrar criterios rigurosos de ingeniería física, eléctrica y lógica bajo el marco de la iniciativa Reconstruir Mejor (*Build Back Better*) (BANCO MUNDIAL y UIT s.f., EVANS y MCGHIE 2011). En el ámbito estructural y geotécnico, las cimentaciones de las torres celulares deben proyectarse mediante estudios de mecánica de suelos que evalúen la amplificación sísmica local y el riesgo de licuación o desestabilización de taludes (CARTAYA et al. 2006, ANIH 2024). La integración de aisladores elastoméricos basales y amortiguadores dinámicos de fricción en la fijación de los gabinetes desacopla el equipamiento electrónico de las aceleraciones transmitidas por la losa o terreno de fundación (EVANS y MCGHIE 2011, CISA 2023). En zonas susceptible a inundaciones o deslizamientos, los recintos técnicos y salas de energía deben elevarse sobre pedestales de concreto estructural calculados por encima de la cota máxima histórica de agua para períodos de retorno de quinientos años (Tr = 500 años), dotando a todos los gabinetes exteriores de envolventes herméticas certificadas bajo norma IEC 60529 con grado IP67 (ITU-T 2020, CISA 2023). Asimismo, los pasos de cables y guías de onda hacia las casetas técnicas deben incorporar transiciones y fuelles flexibles capaces de admitir desplazamientos relativos diferenciales sin desgarrar los conductores (EVANS y MCGHIE 2011).

En el nivel lógico y de arquitectura de red, la resiliencia se alcanza transformando las radiobases en «Islas de Resiliencia» autónomas mediante el despliegue de computación en el borde

(*Multi-access Edge Computing* o MEC) y arquitecturas LACS (Sistemas de Comunicación de Área Local) (ALVES et al. 2020, NEIGLOBE NETWORKS 2024). Al interrumpirse el enlace troncal con el núcleo de red centralizado, la estación celular no suspende sus operaciones, sino que activa de forma automática una instancia virtualizada del plano de control en el servidor de borde local (ETSI 2015, NEIGLOBE NETWORKS 2024). Esta instancia procesa provisionalmente la autenticación de usuarios locales, permite el establecimiento de llamadas de voz sobre IP (VoIP) entre los terminales circunscritos al área de cobertura, habilita mensajería instantánea de socorro y distribuye servidores locales de cartografía táctica para la asignación de cuadrillas de auxilio sobre el terreno (WETTERWALD et al. 2016, NEIGLOBE NETWORKS 2024).

De forma complementaria, las Redes Auto-Organizadas (SON) dotadas de algoritmos de inteligencia artificial en el borde gestionan de forma óptima los recursos de radio y energía durante la contingencia (ALVES et al. 2020, NEIGLOBE NETWORKS 2024). Ante la pérdida de la acometida eléctrica comercial, el sistema ejecuta protocolos de degradación elegante: desactiva portadoras de alta frecuencia destinadas a tráfico comercial intensivo (como las bandas de 2,6 GHz o 3,5 GHz) y apaga módulos de transmisión de potencia elevada, concentrando la cobertura en bandas sub-GHz (700 u 850 MHz) que garantizan penetración en escombros y cobertura territorial amplia con un consumo eléctrico mínimo (ALVES et al. 2020, TERCERO LOZANO et al. 2024). Esta reconfiguración inteligente prolonga la autonomía operativa de los bancos de baterías de días a semanas, priorizando estrictamente las comunicaciones humanitarias y de rescate (ITU-T 2020, CISA 2023).

Capítulo VII: Validación Empírica de Tecnologías Tácticas y Redes No Terrestres

El desempeño de diversas soluciones tecnológicas avanzadas ha sido sometido a validación empírica en catástrofes recientes, confirmando su efectividad para sostener la continuidad operativa ante la destrucción de la infraestructura física tradicional (SAKANO et al. 2019, HELP.NGO 2024):

La conectividad directa satélite-celular (*Direct-to-Cell* o *Direct-to-Device* - D2D) representa uno de los hitos tecnológicos más relevantes en materia de resiliencia (ECC 2006, ESA 2020). Mediante cargas útiles avanzadas en satélites de órbita baja que emulan estaciones base convencionales, es posible establecer comunicación directa bidireccional con teléfonos celulares comerciales estándar sin exigir adaptaciones físicas ni periféricos especiales en los terminales de los usuarios (BASELGA et al. 2020, ESA 2020). Durante el azote de los huracanes Helene y Milton en 2024, esta solución tecnológica permitió el envío y recepción de más de 500.000 mensajes de emergencia y textos de geolocalización en comunidades de montaña y franjas costeras donde las torres celulares terrestres habían sido derribadas en su totalidad (ECC 2006, ORBYNEXA 2024).

Tabla 4. *Soluciones tácticas desplegables y arquitecturas de conectividad no terrestre validadas empíricamente en escenarios de contingencia extrema.*

Solución / Arquitectura Táctica	Base Tecnológica y Normativa	Métrica Operativa de Desempeño	Entorno de Validación en Desastres Reales	Referencia Técnica
Direct-to-Cell (D2D)	3GPP Releases 17/18 NTN; bandas de espectro celular comercial.	Conectividad SMS y paquetes de datos básicos; latencias inferiores a 50 ms.	Huracanes Helene y Milton (2024); >500.000 mensajes cursados.	ECC (2006), ESA (2020)
UAV con Backhaul LEO	Drones cautivos a 200 m acoplados a transceptores LEO.	Ancho de banda de 30 Mbps simétrico; radio de cobertura de 5 a 10 km.	Valles aislados por movimientos de remoción en masa y deslaves.	FIGARO et al. (2026)
Unidades Móviles MDRU	Estandarización bajo Recomendación ITU-T L.392 en módulos contenerizados.	Restablecimiento de red local autónoma en menos de 2 horas.	Terremoto de Japón (2011), Filipinas (2013) y Nepal (2015).	SAKANO et al. (2019)
Redes Mesh Smartphone	Protocolos ad-hoc multihop en frecuencias sub-GHz (ej. 900 MHz).	Enlaces salto a salto de cientos de metros con consumo insignificante.	Áreas con colapso total de infraestructura de mástiles y cableados.	ALVES et al. (2020)
Pasarelas en Banda C	Banda C extendida (4 a 8 GHz); teleportes reforzados sismorresistentes.	Disponibilidad de enlace >99,9% frente a absorción atmosférica por lluvia.	Nodos centrales ante tormentas tropicales y vaguadas.	SAMAD et al. (2021)

Las plataformas aéreas no tripuladas (UAV) integradas con enlaces satelitales LEO constituyen celdas móviles aerotransportadas de rápido despliegue (FIGARO et al. 2026). Drones cautivos o de vuelo estacionario posicionados a 200

metros de altitud, vinculados a terminales satelitales LEO en tierra, operan como repetidores móviles capaces de restaurar un ancho de banda simétrico de 30 Mbps en radios de hasta 10 km, posibilitando la reconexión de poblaciones aisladas por aludes y garantizando video aéreo continuo para la dirección de las brigadas de búsqueda (ANIH 2024, FIGARO et al. 2026)..

Las Unidades Móviles de TIC (MDRU), estandarizadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones bajo la Recomendación ITU-T L.392, proveen centros de conmutación y radiobases completas en contenedores compactos transportables por aire o vía terrestre ligera (ITU-T y NTT 2015, SAKANO et al. 2019). Estas unidades integran servidores de red virtualizados, bancos de baterías y transceptores de radiofrecuencia capaces de restaurar una celda celular plenamente funcional en menos de dos horas tras su arribo al área de desastre (SAKANO et al. 2019). Su eficacia fue validada tras el Gran Terremoto del Este de Japón en 2011, el tifón Haiyan en Filipinas en 2013 y el devastador sismo de Nepal en 2015, restableciendo la conectividad en núcleos urbanos y campamentos médicos en plazos mínimos (UIT s.f., SAKANO et al. 2019).

En el nivel comunitario, los protocolos ad-hoc de retransmisión por teléfono inteligente (Relay-by-Smartphone) transforman los dispositivos de los propios ciudadanos en nodos enrutadores de una red mallada (*mesh*) distribuida (ALVES et al. 2020, HELP.NGO 2024). Operando en frecuencias de uso libre o bandas sub-GHz (tales como 900 MHz), los mensajes de rescate se propagan salto a salto a través de los terminales de sobrevivientes y rescatistas hasta alcanzar una radiobase activa o un terminal satelital táctico, superando la interrupción de la red física intermedia (ALVES et al. 2020). Asimismo, para asegurar los enlaces de los teleportes y centros de comando ante fenómenos de lluvia extrema, el despliegue de pasarelas de respaldo en Banda C (4 a 8 GHz) asegura una disponibilidad superior al 99,9%, garantizando la troncalidad ante contingencias hidrometeorológicas severas (CHANG et al. 2013, SAMAD et al. 2021)

Capítulo VIII: Marco Normativo Internacional, Estándares de Diseño y Gobernanza

El aseguramiento de la resiliencia en telecomunicaciones no depende únicamente de la innovación en ingeniería de hardware y software, sino de la existencia de un marco de gobernanza institucional y acuerdos normativos internacionales previsibles (BANCO MUNDIAL y UIT s.f., CHANG et al. 2013). A nivel multilateral, el Convenio de Tampere sobre el Suministro de Recursos de Telecomunicaciones para la Mitigación de Catástrofes y las Operaciones de Socorro, adoptado en 1998, constituye el tratado vinculante que regula el despliegue expedito de auxilio técnico humanitario (UIT s.f.). El convenio exige a los Estados signatarios desmontar las trabas aduaneras y regulatorias en situaciones de emergencia mediante la exención total de aranceles de importación para equipos de telecomunicaciones satelitales y de radiofrecuencia, la asignación inmediata y gratuita de frecuencias del espectro radioeléctrico para operaciones tácticas de auxilio, y la concesión de inmunidades e inmunidad jurídica a los técnicos y operadores humanitarios internacionales desplegados en la zona afectada (UIT s.f., CHANG et al. 2013).

En el plano de las políticas públicas sectoriales, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y el Banco Mundial promueven la formulación obligatoria de los Planes Nacionales de Telecomunicaciones de Emergencia (NETP) estructurados en cuatro fases continuas (BANCO MUNDIAL y UIT s.f., UIT s.f.): La fase de mitigación establece el mapeo geográfico de riesgos sobre infraestructuras digitales críticas y exige redundancia física en troncales (BANCO MUNDIAL y UIT s.f.). La preparación define protocolos de interoperabilidad interinstitucional, ejercicios de simulación y el mantenimiento preventivo de unidades móviles de respuesta rápida (UIT s.f.). La respuesta involucra la activación inmediata de los canales prioritarios de seguridad pública y la conmutación a modos de contingencia (BANCO MUNDIAL y UIT s.f.). Finalmente, la fase de recuperación aplica las directrices de Reconstruir Mejor para sustituir infraestructuras destruidas por tecnologías avanzadas y sismorresistentes (BANCO MUNDIAL y UIT s.f., EVANS y MCGHIE 2011).

Este andamiaje institucional se articula con los estándares internacionales del consorcio 3GPP en sus Releases 17, 18 y 19, las cuales integran las Redes No Terrestres (NTN) dentro del estándar 5G y las futuras plataformas 6G (ALVES et al. 2020, BASELGA et al. 2020, TERCERO LOZANO et al. 2024). Gracias a esta homologación global, los teléfonos inteligentes comerciales pueden interactuar nativamente con satélites en órbita baja y capas aéreas sin modificaciones de hardware, unificando los mecanismos de señalización y seguridad (ECC 2006, COOMANS et al. 2024).

En el ámbito regulatorio nacional, este marco debe complementarse con la consagración vinculante del Roaming Nacional de Emergencia (BANCO MUNDIAL y UIT s.f., UIT s.f.). Esta figura legal obliga a todos los operadores móviles a permitir que, ante la caída de la red de un competidor en una zona de desastre, los usuarios de la operadora colapsada se autentiquen y cursen llamadas de auxilio y mensajes a través de las estaciones base supervivientes de cualquier otra empresa presente en el territorio de forma gratuita, anteponiendo la preservación de la vida a cualquier consideración comercial (BANCO MUNDIAL y UIT s.f.).

Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones para la Ingeniería y el Hábitat

La condición de Venezuela como territorio expuesto a amenazas sísmicas e hidrometeorológicas severas, añadida a la concentración de su población en áreas de elevado riesgo geológico, demanda que las telecomunicaciones móviles sean clasificadas formalmente como una infraestructura crítica de soporte vital del hábitat construido (CARTAYA et al. 2006, ANIH 2024). La experiencia histórica nacional y la evidencia forense internacional ratifican que la interrupción del servicio celular agrava las consecuencias destructivas de un desastre, paralizando el mando institucional, entorpeciendo la evaluación técnica de daños y privando de auxilio a las víctimas en la ventana crítica de las Horas Doradas (SUÁREZ RUIZ y

PACHECO GIL 2008, PESCAROLI y ALEXANDER 2016, HELP.NGO 2024).

El paradigma clásico de diseño estructural debe evolucionar decididamente desde el principio restrictivo de Preservación de la Vida hacia la doctrina de la Recuperación Funcional (Functional Recovery) (EVANS y MCGHIE 2011, ALVES et al. 2020). Esta transición exige la incorporación formal del marco conceptual 3R (Confiabilidad, Robustez y Resiliencia) en los códigos normativos nacionales de edificación y telecomunicaciones, estableciendo exigencias técnicas de desempeño operacional continuo para todas las instalaciones nodales (ETSI 2015, ALVES et al. 2020).

Para materializar esta transformación en el territorio venezolano, se formulan las siguientes directrices técnicas y de políticas públicas:

En materia estructural y de emplazamiento físico, las normas técnicas de diseño sismorresistente deben exigir el aislamiento dinámico basal de bastidores electrónicos, el anclaje sismorresistente de componentes electromecánicos y la sobreelevación de recintos técnicos por encima de los niveles de inundación con período de retorno de quinientos años, incorporando envolventes estancas certificadas bajo norma IP67 (IEC 60529) y juntas de dilatación flexible en el paso de conductores (EVANS y MCGHIE 2011, CISA 2023).

En el ámbito de la ingeniería energética, debe proscribirse progresivamente el uso exclusivo de acumuladores de plomo-ácido en infraestructuras neurálgicas, promoviendo su reemplazo obligatorio por bancos de Litio-Ferrofosfato (LiFePO4) dotados de telemetría inteligente bajo la Recomendación ITU-T L.138 (ITU-T 2020, CISA 2023). Estas soluciones deben complementarse con el despliegue de Microrredes Híbridas de Energía Renovable (REHS) capaces de funcionar en modo isla, garantizando un horizonte mínimo de supervivencia energética ininterrumpida de diecisiete días sin dependencia de abastecimiento vial de combustibles hidrocarburos (CISA 2023).

En el plano de las arquitecturas lógicas y de radiofrecuencia, es imperativo promover topologías multicapa tridimensionales (3D RAN) que combinen la red terrestre convencional con enlaces troncales de conmutación automática sustentados en mega constelaciones satelitales en órbita baja (LEO), dotadas de enlaces ópticos intersatelitales (ALVES et al. 2020, GUPTA et al. 2024, STEVENS et al. 2024). Las estaciones base emplazadas en municipios vulnerables deben configurarse como «Islas de Resiliencia» mediante plataformas de computación en el borde (MEC), asegurando que, ante la ruptura del enlace con el núcleo central, la celda provea de forma local y autónoma autenticación provisional de abonados, voz sobre IP, georreferenciación de estructuras colapsadas y mensajería comunitaria (ETSI 2015, ANIH 2024, NEIGLOBE NETWORKS 2024).

En cuanto a las capacidades de respuesta táctica, se recomienda que las autoridades de protección civil y los operadores de telecomunicaciones coordinen la dotación estratégica y preposicionamiento de Unidades Móviles de TIC (MDRU) estandarizadas bajo la Recomendación ITU-T L.392, así como plataformas cautivas con drones acoplados a enlaces LEO, aptas para ser aerotransportadas y restablecer burbujas de conectividad celular en menos de dos horas sobre comunidades devastadas por aludes o sismos (UIT s.f., SAKANO et al. 2019, FIGARO et al. 2026).

Finalmente, en el terreno de la gobernanza institucional, el Estado debe actualizar el Plan Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (NETP), consagrar en la legislación de telecomunicaciones la obligatoriedad estricta del Roaming Nacional de Emergencia entre todos los operadores públicos y privados, y aplicar con carácter vinculante las disposiciones de diplomacia humanitaria establecidas en el Convenio de Tampere, removiendo aranceles aduaneros y agilizando la asignación de espectro táctico para la atención oportuna de emergencias (BANCO MUNDIAL y UIT s.f., UIT s.f., CHANG et al. 2013). La integración sinérgica entre el rigor de la ingeniería estructural, la innovación en arquitecturas digitales descentralizadas y una política pública orientada a la resiliencia constituirá la base indispensable para proteger la vida humana y asegurar la viabilidad del hábitat venezolano frente a las catástrofes socionaturales del porvenir (CARTAYA et al. 2006, ALVES et al. 2020, ANIH 2024).

REFERENCIAS

ABDALLA M. A. A. 2025. Satellite communication technologies for smart grid applications: A comprehensive review of GEO VSAT and LEO constellations. *International Journal of Science and Research Archive*, 17(2): 178-190.

ACADEMIA NACIONAL DE LA INGENIERÍA Y EL HÁBITAT (ANIH). 2024. Metodología para la evaluación rápida de daños en edificaciones y tecnologías emergentes en el hábitat. *Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*, 61: 8-14.

ALIANZA REBELDE INVESTIGA. 2022. ¿Qué pasó en Las Tejerías? Experto en riesgos de la ULA lo explica. Caracas: *TalCual*.

ALVES H., N. H. MAHMOOD, O. L. A. LÓPEZ, S. SAMARAKOON, S. YRJÖLÄ, M. LATVA-AHO, M. JUNTTI y A. POUTTU (Eds.). 2020. *6G Resilience* (White Paper). Oulu: 6G Flagship, University of Oulu.

BANCO MUNDIAL y UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT). s.f. Emergency communications module: National Emergency Telecommunications Plans (NETP). Digital Regulation Platform (DRP).

BASELGA O., A. CALVERAS y J. A. RUIZ-DE-AZUA. 2020. Exploring the performance of transparent 5G NTN architectures based on operational mega-constellations. Network, 5(3): 515.

CÁRITAS DE VENEZUELA. 2006. Comunicado oficial - Cáritas de Venezuela ante el doloroso impacto de los terremotos del 4 de junio de 2006. Caracas: Conferencia Episcopal Venezolana.

CARTAYA S., W. MÉNDEZ y H. PACHECO. 2006. Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica. Interciencia, 31(9): 638-646.

CHANG K. C., M. J. KOZAR, C. E. ROSE, A. J. WEINERT, P. W. BREIMYER, R. DI CIACCIO, T. A. ROE, C. S. TIMMERMAN, M. A. SCHUMAN y D. D. MEHTA. 2013. A

review of satellite communications and complementary approaches to support distributed disaster response (Technical Report No. Group 4/64/65). Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Laboratory / U.S. Department of Homeland Security.

COOMANS W., H. HOLMA, J. WIGARD, M. LAURIDSEN y T. SPATHOPOULOS. 2024. *Satellite communication benchmarking with terrestrial 5G networks* (White Paper CID15031). Espoo: Nokia Bell Labs / Nokia Corporation.

CRUZ ROJA VENEZOLANA. 2022. *Flash Report N° 11 - Vaguada en altura y deslaves en Las Tejerías (Septiembre-Octubre 2022)*. Caracas: Gerencia de Operaciones.

CYBERSECURITY AND INFRASTRUCTURE SECURITY AGENCY (CISA). 2023. Resilient Power Best Practices for Critical Facilities and Sites. Washington D.C.: Cybersecurity and Infrastructure Security Agency, Resilient Power Working Group.

ELECTRONIC COMMUNICATIONS COMMITTEE (ECC). 2006. Exploring the regulatory and technical elements with respect to national authorisation of satellite based Direct-to-Device (D2D) communications via existing available smartphones (ECC Report 373). European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT).

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). 2020. Converging Earth and space: Direct-to-Device connectivity via satellite (White Paper). Paris: European Space Agency.

EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE (ETSI). 2015. Network Functions Virtualisation (NFV); Resiliency Requirements. Sophia Antipolis: Especificación de grupo ETSI GS NFV-REL 001 V1.1.1.

EVANS N. L. y C. MCGHIE. 2011. The performance of lifeline utilities following the 27th February 2010 Maule earthquake Chile. En: Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering: Building an Earthquake-Resilient Society, Paper No. 036: 1-8. New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE).

FIGARO M., F. ROSSATO, A. BONORA, M. GIORDANI, G. SCHEMBRA y M. ZORZI. 2026. Experimental evaluation of a UAV-mounted LEO satellite backhaul for emergency connectivity. En: *IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2026)*. IEEE.

GUPTA M., E. TUMANOVA, Z. BISCHOF, A. DAINOTTI y A. SAEED. 2024. Optimizing Low Earth Orbiting Satellite Networks for Disaster Scenarios. Atlanta: Georgia Institute of Technology.

HELP.NGO. 2024. Mission Profiles: Archive of global emergency response operations. UN Standby Partner.

HUGHES NETWORK SYSTEMS. 2024. *World Wi-Fi Day 2024: Connecting the unconnected and restoring lifelines in disaster zones*. Germantown: Hughes.

NEIGLOBE NETWORKS. 2024. AI connectivity when networks fail: Vicino AI portable infrastructure.

ORBYNEXA. 2024. *When the signal never dies: How Starlink is quietly rewiring rescue, research, and the open ocean*. Orbynexa Latest News.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD y CENTRO REGIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE DESASTRES (OPS y CRID). 1997. El sismo de Cariaco del 9 de Julio de 1997 - Informe preliminar.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD y ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OPS y OMS). 2006. Terremotos en Venezuela (M7.3 y M7.5): Reporte de situación N° 3.

PESCAROLI G. y D. ALEXANDER. 2016. Critical infrastructure, panarchies and the vulnerability paths of cascading disasters. *Natural Hazards*, 82(1): 175-192.

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2006. Decreto N° 5.364, mediante el cual se declara el Estado de Emergencia en todo el territorio nacional. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 7.039 Extraordinario.

SAKANO T., Y. SUZUKI, R. SASAZAWA, Y. KAWAMOTO, H. NISHIYAMA, N. KATO, A. YAMAMOTO y S. KOTABE. 2019. Development of Movable and Deployable ICT Resource Unit (MDRU) and its overseas activities. Journal of Disaster Research, 14: 363-374.

SAMAD M. A., F. D. DIBA y D.-Y. CHOI. 2021. A survey of rain fade models for Earth-Space telecommunication links—Taxonomy, methods, and comparative study. Remote Sensing, 13(10): 1965.

STEVENS A., B. IRADUKUNDA, B. BAILEY y R. DURAIRAJAN. 2024. Can LEO Satellites Enhance the Resilience of Internet to Multi-Hazard Risks? En: Passive and Active Measurement Conference (PAM 2024). Virtual: 170-195.

SUÁREZ RUIZ C. A. y H. A. PACHECO GIL. 2008. El desastre de Vargas de 1999: Interpretación geográfica y percepciones populares. Revista de Investigación, 63: 87-102.

TERCERO LOZANO P., S. EULER, D. SINGH y E. MEDEIROS. 2024. Non-Terrestrial Networks (NTN) for mission critical communications (White Paper). Ericsson.

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (ITU-T). 2020. Recommendation ITU-T L.138: Smart energy solution for telecommunication rooms. Ginebra: UIT.

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (ITU-T) y NTT TECHNICAL REVIEW. 2015. ICT standardization trends for disaster relief, network resilience, and recovery by ITU-T.

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT). s.f. *ITU Disaster Response: Rapid deployment of emergency telecommunications*. Ginebra: UIT.

WETTERWALD M., D. SAUCEZ, X.-N. NGUYEN y T. TURLETTI. 2016. SDN for Public Safety Networks (Research Report). Inria Sophia Antipolis / DIANA Research Team.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 354 –397
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/184

EVALUACIÓN DEL ESTADO FÍSICO Y FUNCIONAL DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGOS CONSTRUIDAS EN EL ESTADO LA GUAIRA A RAÍZ DE LOS DESLAVES DE 1999

José Luis LÓPEZ[1]

1 RESUMEN

En este artículo se describen los resultados de la evaluación del estado físico y funcional de las obras de mitigación de riesgos que fueron construidas en Vargas, hoy Estado La Guaira, después de los catastróficos aludes torrenciales que ocurrieron en diciembre de 1999. Para ello se visitaron 28 ríos o quebradas donde se ubican las 64 presas de control de sedimentos que fueron inspeccionadas. También se inspeccionaron algunas de las canalizaciones que forman parte de este sistema. Los resultados indican que seis presas de gaviones se encuentran en ruinas o han sido destruidas por las lluvias torrenciales del 2005, 2010 y 2011: 2 presas en el río Anare, 3 en Quebrada Seca y 1 en el río Camurí Grande. El 67% de las presas cerradas están completamente sedimentadas por lo que han perdido su capacidad de proteger a las poblaciones aguas abajo. El 33% restante presentan un grado de sedimentación que oscila entre un 50% y un 80%. Las presas abiertas han cumplido con su función de regular el transporte de sedimentos y filtrar el material de arrastre. El 96% de las presas abiertas, presentan un grado de sedimentación entre un 15% y un 70%. Se concluye que es necesario restablecer la capacidad de retención de las presas del Estado La Guaira, a fin de garantizar un cierto grado de protección a sus habitantes. Al final del artículo se hacen recomendaciones específicas del numero de presas requeridas para las cuencas más vulnerables. Se recomienda que las nuevas presas que se diseñen deben ser presas abiertas de concreto ciclópeo del tipo ranurado, o presas tipo rastrillo con elementos de concreto o tubos de acero.

ABSTRACT

Physical and functional evaluation of risk mitigation works constructed in La Guaira state following the 1999 landslides

This article describes the results of an assessment regarding the physical and functional condition of risk-mitigation structures built in Vargas—now La Guaira State—following the catastrophic debris flows of December 1999. To this end, field visits were conducted at 28 rivers or ravines housing the 64 sediment-control dams inspected; certain channelization works forming part of the system were also examined. The results indicate that six gabion dams are in ruins or were destroyed by torrential rains in 2005, 2010, and 2011: two on the Anare River, three on Quebrada Seca, and one on the Camurí Grande River. Sixty-seven percent of the closed dams are completely filled with sediment, thereby losing their capacity to protect downstream populations. The remaining 33% exhibit sedimentation levels ranging from 50% to 80%. The open dams have successfully fulfilled their function of regulating sediment transport and filtering debris. Ninety-six percent of the open dams show sedimentation levels between 15% and 70%. It is concluded that the retention capacity of the dams in La Guaira State must be restored to ensure a certain level of protection for local inhabitants. The article concludes with specific recommendations regarding the number of dams required for the most vulnerable watersheds. It is recommended that new designs utilize open cyclopean concrete dams of the slotted type, or rake-type dams constructed with concrete elements or steel pipes.

Palabras Clave: Presas de retención de sedimentos, Vargas, La Guaira.
Keywords: Sediment control dams, check dams, Vargas, La Guaira.

2 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

La tragedia de Vargas de diciembre de 1999, considerada el mayor desastre de origen hidrometeorológico en Venezuela, impulsó un proyecto de ingeniería de envergadura única en América Latina: la construcción de 64 presas de retención de sedimentos y la canalización de 25 quebradas entre los años 2001 y 2008, que garantizaban una protección adecuada a las poblaciones asentadas en los abanicos aluviales del hoy denominado Estado La Guaira.

El objetivo de este trabajo es evaluar mediante inspecciones de campo, el estado físico y funcional en que se encuentra la infraestructura hidráulica (presas y canalizaciones) construida en el Estado La Guaira a raíz del deslave de 1999, y recomendar medidas de acción. Particularmente, se desea conocer el grado

[1] Ph.D. Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV

de sedimentación o colmatación en que se encuentran las presas, los daños que hayan sufrido las obras por las crecientes torrenciales que ocurrieron posteriormente, y las afectaciones que haya podido causar el terremoto del 24/06/26.

En este informe se identifican las cuencas más vulnerables y se hacen recomendaciones para reducir el riesgo mediante el restablecimiento de la capacidad protectora de la infraestructura hidráulica. El informe se complementa con las observaciones que el autor ha realizado por más de 20 años de monitoreo de dichas obras (López, 2010 y López, 2021). La intención es motivar a las autoridades competentes a adelantar las acciones necesarias para garantizar un grado de protección adecuada a la población del Estado La Guaira

Este informe es el resultado de un esfuerzo conjunto de los siguientes profesionales que participaron en las visitas de campo y en la discusión de la problemática: el consultor Ing. Pascual Perazzo, los ingenieros Karen Pereira, Carlos Betancourt, Jesús González, Melvin Castellanos, y el Geog. Jesús Ramírez del Consejo Científico del MOP, los funcionarios Carlos León, Emberly Meza y Almarys Ramírez de Protección Civil La Guaira, José Gregorio Morao de Protección Civil Guárico, Silvia Hernández, de Protección Civil Portuguesa, y Fernando Martínez y Thais Domínguez, de Protección Civil Vargas. Las visitas de campo se realizaron en un periodo de 6 semanas, comprendido entre el 21/07/26 y el 28/08/26.

El proyecto se realizó gracias al apoyo logístico suministrado por el Ing. Alexander Marín, del Consejo Científico, y el Ing. Trino Baloa, director general de Planificación Sectorial de la Vicepresidencia Sectorial de Obras Públicas y Servicios.

3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS OBRAS

Se identificaron e inspeccionaron 64 presas de control de sedimentos, correspondientes a 28 ríos o quebradas. La Figura 1 muestra la ubicación aproximada de las obras, y la Tabla A1 (ver Anexo) presenta las características más importantes de las presas, el grado de sedimentación que presentan sus vasos, y el estado actual en que se encuentran estas obras. La Tabla A2 muestra sus coordenadas georreferenciadas obtenidas en el trabajo de campo.

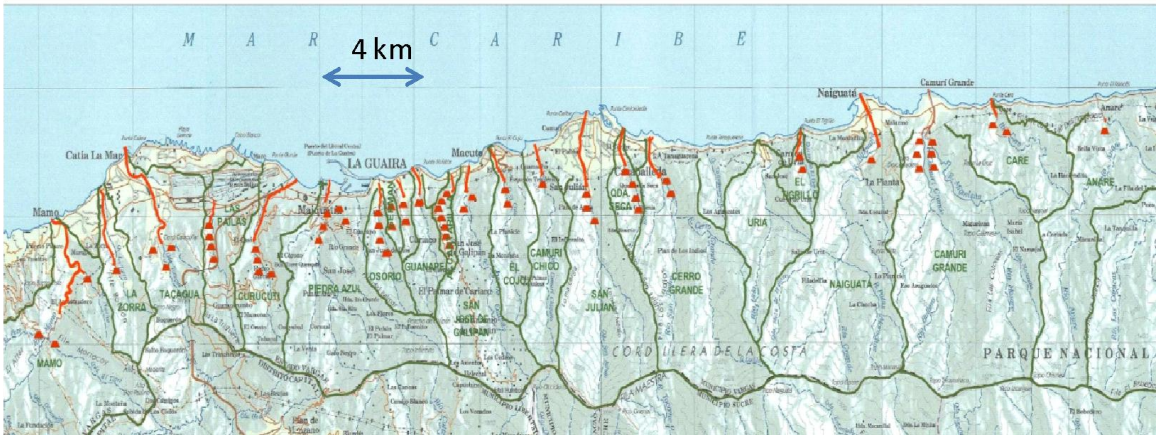


Figura 1. *Mapa de ubicación aproximada de las presas construidas para el control de sedimentos en el estado Vargas, las cuales se indican con símbolos rojos (López, 2010).*

2.1 Tipos de presas

Se distinguen fundamentalmente dos tipos de presas para el control de los sedimentos generados por los flujos torrenciales: las presas cerradas y las presas abiertas.

Las presas cerradas son estructuras que no presentan aberturas en el cuerpo de la presa, por lo que interceptan y retienen todo el material arrastrado por el flujo, excepto los sedimentos más finos en suspensión (limos y arenas) que pasan por la cresta del vertedero durante las crecientes.

Las presas abiertas son estructuras que disponen de aberturas en el cuerpo del dique. Dependiendo del tamaño de las aberturas, las presas abiertas cumplen la función de filtrar los sedimentos, ramas y troncos de árboles, o de dosificar el transporte de sedimentos aguas arriba. Si la abertura es estrecha, la dosificación del transporte ocurre por medio del remanso hidráulico que se genera aguas arriba de la presa. Si las aberturas son grandes, la retención se produce por la acción mecánica de filtrado que ejerce la abertura.

Las presas abiertas construidas en La Guaira, han sido clasificadas en 5 grupos: presas de rastrillo, presas de ranura, presas de ventana, presas reticuladas y presas de redes de anillos. La Figura 2 muestra ejemplos de los seis (6) tipos de presas construidas en La Guaira, presas cerradas y presas abiertas, para retener y seleccionar el material sedimentario arrastrado por las crecidas y los aludes torrenciales.

La altura de las presas varía entre 2 m y 11 m. De las 64 presas identificadas en campo, se pueden establecer las siguientes características (ver Tabla A1 en Anexo):

Número de presas de acuerdo a la función que cumplen:
Presas de retención: 57
Presas de control de erosión: 7

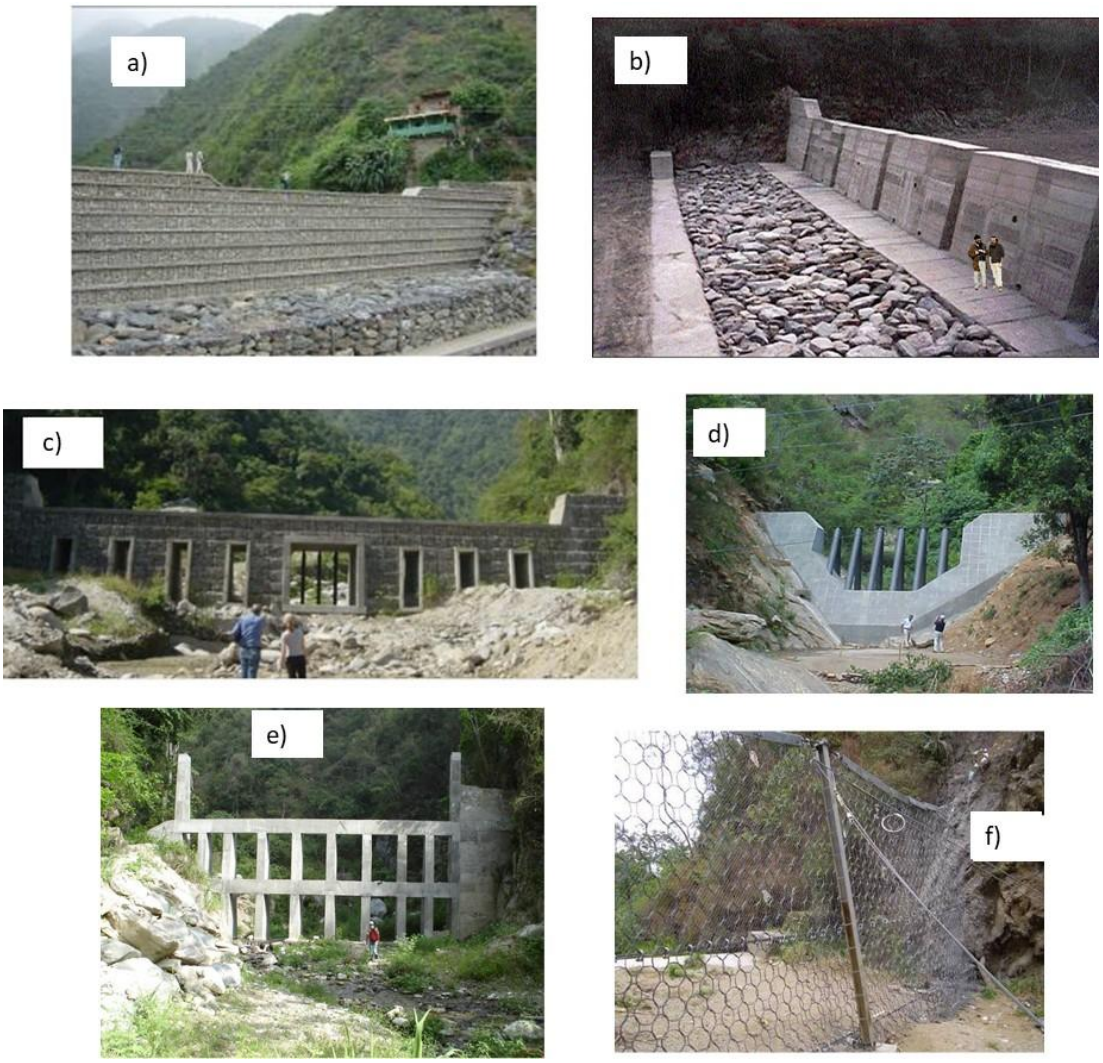


Figura 2*. Ejemplos de los 6 diferentes tipos de presas de control de sedimentos construidas en La Guaira: a) presa cerrada de gaviones en la quebrada San José de Galipán; b) presa ranurada de concreto ciclópeo en la quebrada Curucutí; c) presa de gaviones con ventanas en río Camurí Chico; d) presa de rastrillo con elementos tubulares de acero, en la quebrada Tacagua; e) presa reticulada de concreto armado en la quebrada San José de Galipán; y f) presa de anillos de acero, tipo barrera flexible (Geobrugg)en quebrada Osorio.*

Número de presas de acuerdo al mecanismo de retención:
Presas cerradas: 36
Presas abiertas: 28
Número de presas de acuerdo al material de construcción:
Gaviones: 43
Concreto: 16
Acero: 3
Red de anillos: 2
Número de presas abiertas de acuerdo al tipo de abertura:
Rastrillo: 11
Ranura: 9
Ventana: 5
Reticulado: 1
Anillos: 2

2.2 Las presas para control de erosión

En casi todas las cuencas se construyeron presas de retención, con el propósito de retener y filtrar los sedimentos y el material de arrastre. Solamente en unos pocos casos, en la quebrada Alcantarilla y en la quebrada Osorio, se construyeron pequeñas presas conformadas por diques escalonados de baja altura para controlar la erosión del lecho en tramos de alta pendiente. A estas estructuras también se les conoce con el nombre de diques de estabilización o de consolidación.

La Figura 3 muestra una visión panorámica del caso de la quebrada Alcantarilla, donde las obras se inician aguas arriba con tres presas cerrada de retención de sedimentos, construidas en gaviones de 5, 5 y 6 m de altura, seguidas de 4 presas o diques pequeños de gaviones de 2 m de altura, con espaciamiento variable entre 10 y 20 m, con el fin de estabilizar el lecho e impedir la propagación de los procesos erosivos. La Figura 4 presenta fotografías de dichas obras.



Figura 3. *Vista aérea de las obras de control de sedimentos construidas en la quebrada Alcantarilla, conformadas por tres presas de retención de sedimentos y 4 diques para control de erosión, seguidas por un canal de concreto.*

2.3 Sedimentación de las presas cerradas

De las 36 presas cerradas listadas en la Tabla A1, 24 de ellas están completamente sedimentadas, lo cual representa un 67%. Las restantes 12 presas, presentan un grado de sedimentación que oscila entre un 50% y un 80%.

En algunos casos, el proceso de sedimentación ha ocurrido rápidamente. Esto se manifiesta claramente en la presa cerrada de Macuto, construida con gaviones, de 7 m de altura, en la quebrada San José de Galipán. La construcción de la presa fue culminada en marzo del 2003 y para noviembre del 2004 estaba casi totalmente llena de sedimentos a pesar de no haber ocurrido crecientes extraordinarias en ese periodo (ver Figura 5). Este proceso rápido de sedimentación se asocia a la ausencia de ventanas o aberturas en el cuerpo de la presa, que no permitieron el paso de los materiales más finos transportados por los flujos normales de agua y sedimentos que ocurren durante las crecientes anuales.



Figura 4. *Obras de control de sedimentos en la quebrada Alcantarilla: a) presa de retención de sedimentos No. 5 recién construida, de 6 m de altura; b) vista desde aguas arriba de las presas o diques transversales de 2 m de altura para control de erosión; c) y d) vista desde aguas abajo de las presas o diques transversales para control de erosión del lecho; e) Vista de la presa No. 5 de 6 m de altura; f) Vista del primer dique de control de erosión (ultimas fotos tomadas el 05/08/26).*

Las fotos de la Figura 6 muestran el estado de la presa de Macuto en la visita realizada el 21/07/26. Se observa el deterioro de algunos tramos de los gaviones y de sus losas, por efectos del impacto de rocas y abrasión por el flujo de agua y sedimentos que escurre sobre el vertedero, lo cual se debe corregir haciéndole un mantenimiento adecuado, para evitar que el problema se agrave.

La Figura 7 ilustra el caso de la colmatación de una presa cerrada de gaviones en la quebrada Curucutí (presa No 2). Las fotos superiores muestran la situación existente para el año 2007, cuando ya la presa estaba colmatada debido a las lluvias torrenciales del 2005. Las fotos inferiores muestran la situación actual, para el 12/08/26.

2.4. Sedimentación de las presas abiertas

La sedimentación de las presas abiertas se ha producido, en algunos casos, por obstrucción de las aberturas debido a la gran cantidad de material vegetal, ramas y troncos de árboles, que arrastran durante las crecientes las quebradas que drenan el macizo Ávila. Estos materiales, debido a su gran dimensión, quedan atrapados en las ranuras o ventanas de las presas impidiendo el paso del material sedimentario hacia los tramos aguas abajo

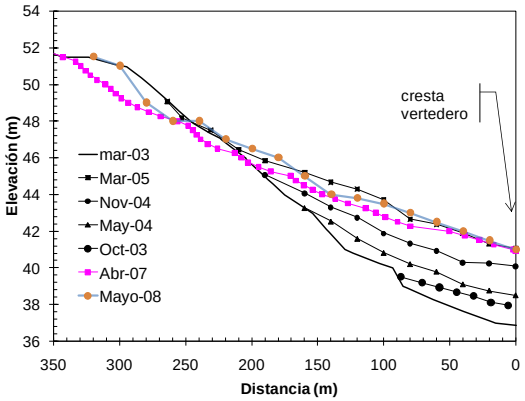


Figura 5. *Cambios temporales en los perfiles del lecho de la quebrada San José de Galipán aguas arriba de la presa de Macuto, en Vargas (López, 2010)..*



Figura 6. *a) Vista frontal de la presa cerrada de gaviones del rio San José de Galipán, en Macuto; b) Vista del vaso completamente sedimentado (Fotos del 21/07/26).*



Figura 7. *Arriba: a) vista frontal de la Presa N° 2 en la Quebrada Curucutí; b) vista de su vaso totalmente sedimentado (fotos del 2007). Abajo: vistas de la misma presa y de su vaso sedimentado, cubierto por la vegetación (fotos del 12/08/26 tomadas por Carlos Betancourt).*

La primera presa que se construyó en Vargas, después de la tragedia de 1999, fue la presa de Guanape, una presa tipo rastrillo con elementos verticales en concreto armado de 4,5 m de altura, la cual se terminó de construir en mayo del 2001 (Figura 8). A pesar de ser una presa abierta, una tormenta de menor cuantía ocurrida el 3 de diciembre del 2001 la llenó completamente de sedimentos, debido a la obstrucción producida por los arrastres vegetales y troncos de árboles.

En la visita del 07/08/26, se pudieron apreciar algunos problemas de deterioro y abrasión del concreto, así como exposición de cabillas en algunos elementos de la presa (Figura 8). Las aberturas presentaban poca obstrucción, y el grado de sedimentación estimado de la presa fue de un 30%.



Figura 8. *Arriba: a) vista de la presa de rastrillo de la quebrada Guanape, recién construida; y b) vista de la obstrucción causada por atrape de restos vegetales en las aberturas, después de una crecida en diciembre del 2001 (Foto de G.F. Morassutti). Abajo: vistas de la misma presa, de su vaso parcialmente sedimentado y de abrasión del concreto y exposición de cabillas en una de las columnas (fotos del 07/08/26).*

La presa abierta de Macuto es una presa del tipo reticulado de 6 m de altura, en concreto armado. Puede ser visualizada también como una presa de rastrillo con ocho columnas o peines unidos por dos vigas longitudinales de amarre. El ancho de las aberturas es de 1,30 m. La presa se encuentra sobre el río San José de Galipán a unos 1000 m aguas arriba de la presa cerrada de Macuto.

Las fotos de la Figura 9 muestran la presa recién finalizada su construcción, en mayo 2008, y la situación existente para enero 2010, cuando aproximadamente casi todo el reticulado inferior estaba atarquinado debido a la obstrucción producida por arrastres vegetales. Para octubre del 2022, los sedimentos alcanzaban el tope de la presa y los flujos estaban escurriendo por el estribo derecho, poniendo en peligro la estabilidad de la estructura. En octubre de 2023, se realizó un trabajo de

remoción del material sedimentario atrapado en la presa y la presa recupero su capacidad original de retención.

En la inspección realizada el 21/07/26, se encontró que el estado estructural de la presa es satisfactorio, y el grado de sedimentación se estimó en un 30% (Figura 8).

2.5 Colapso de las presas de Anare

En el río Anare se construyeron dos presas cerradas de gaviones. La primera finalizó su construcción en septiembre del 2002 y la segunda en enero del 2003. Las dos presas eran de 3 m de altura hasta el nivel del vertedero, provistas de un contradique de 2 m de altura a corta distancia aguas abajo. Ambas presas fueron severamente dañadas por las crecientes de febrero 2005.

Las fotografías de la Figura 10 muestran el dique y el contradique de la Presa N° 1, recién finalizada su construcción. En ellas se puede observar lo siguiente: 1) la presa parece estar ubicada a no mucha distancia de una curva que presenta el río aguas arriba (ver Foto "a"); 2) el estribo derecho de la presa está anclado en el talud del cerro adyacente (ver Foto "b"); 3) el estribo izquierdo está anclado en una terraza fluvial de aproximadamente 2 m de altura sobre el nivel del cauce (ver Fotos "a" y "c"). Las fotografías de la Figura 11 presentan una situación similar para la Presa N° 2: estribo derecho anclado en el cerro adyacente y estribo izquierdo en una terraza fluvial de poca altura.

La primera presa fue dañada grandemente por la creciente de febrero del 2005; el río abandonó su cauce y abrió uno nuevo a un costado de la presa (Figura 12a). La causa de la falla se atribuye al mal empotramiento lateral del estribo izquierdo que fue anclado en una terraza aluvial de muy poca altura, menor de 3 m (ver foto 11a) sin ninguna previsión para evitar que el flujo se le metiera por detrás a la presa. El remanso generado aguas arriba de la presa hizo que los flujos desbordaran fácilmente la terraza sedimentaria sobre la margen izquierda. Esto pudo haber sido ayudado por la curvatura del cauce en el tramo aguas arriba. La presa se sedimentó totalmente (Figura 12a) lo cual contribuyó al abandono del antiguo cauce y a la apertura del nuevo cauce lateral (bypass). Esto ha podido evitarse con la construcción de una berma o dique longitudinal aguas arriba de la presa, sobre la margen izquierda, con una cota lo suficientemente alta para evitar el desborde del flujo. Una sección total de la segunda presa fue removida por el flujo (Figura 12b) dañándola también severamente. Las presas no fueron rehabilitadas por lo que las crecientes posteriores (2010 y 2011) las terminaron de destruir.

En la inspección realizada el 28/08/26 se corroboró que ambas presas estaban en ruinas (totalmente destruidas), tal como se muestra en la Figura 13.



Figura 9*. Evolución temporal de la sedimentación de la presa abierta de Macuto (rio San José de Galipán). a) Arriba: recién construida (2008) presentaba un 50% de sedimentación el 2010 y un 100% el 2022. b) Centro: trabajos de remoción del material sedimentario atrapado en la presa. c) Abajo: estado de la sedimentación (30%) para el 21/07/26.*



Figura 9*. (Continuación). Evolución temporal de la sedimentación de la presa abierta de Macuto (rio San José de Galipán). a) Arriba: recién construida (2008) presentaba un 50% de sedimentación el 2010 y un 100% el 2022. b) Centro: trabajos de remoción del material sedimentario atrapado en la presa. c) Abajo: estado de la sedimentación (30%) para el 21/07/26.*



Figura 10. *Presa N° 1 cerrada de gaviones, recién construida sobre el río Anare el año 2002. Foto (a) muestra una vista frontal mirando hacia aguas arriba. Foto (b) muestra el estribo derecho empotrado sobre el talud del cerro; Foto (c) muestra el estribo izquierdo empotrado en una terraza fluvial de poca altura.*



Figura 11. *Presa N° 2 cerrada de gaviones, recién construida sobre el río Anare el año 2003. Foto (a) muestra una vista lateral de la presa donde se observa el empotramiento del estribo derecho en el cerro. Fotos (b) y (c) muestran el estribo izquierdo empotrado en una terraza fluvial.*



Figura 12. *Vista frontal de las presas colapsadas por la creciente de febrero del 2005 en el río Anare.*



Figura 13. *Ruinas de las presas de Anare: Presa No.1 (izquierda) y Presa No.2 (derecha), cubierta por los arbustos. Fotos de la inspección realizada el 28/08/26.*

2.6 Colapso de las presas de Quebrada Seca

Debido a la presencia de abundante vegetación, ha sido difícil ubicar en campo todas las presas de retención de sedimentos construidas en Quebrada Seca. Sin embargo, en visitas de campo efectuadas por investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF) de la UCV (López y Sereno, 2009; Noguera, et al., 2016), se verificó que se habían construido cuatro presas, las cuales se indican en la imagen satelital de la Figura 14.

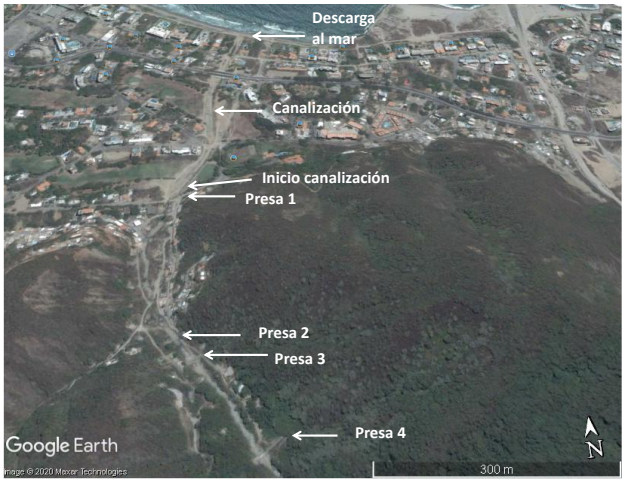


Figura 14. *Vista aérea de conjunto de las obras construidas en Quebrada Seca: canalización de aproximadamente 600 m de longitud y cuatro (4) presas de retención de sedimentos (Imagen Google Earth del 2007).*

La Figura 15 muestra la presa de gaviones de 8 m de altura (Presa No. 4), provista de cuatro barbacanas o mechinales en la sección central de la presa debajo del vertedero. La presa fue construida el año 2006, según información extraída de la página web de Corpovargas (2009).

La Figura 16 presenta imágenes de la canalización en gaviones construida el año 2007.



Figura 15. *Vista frontal desde aguas abajo de la Presa N° 4, construida en gaviones de 8 m de altura. Fotografía tomada recién culminada su construcción el año 2006 (Foto extraída de la página Web de Corpovargas el año 2009).*

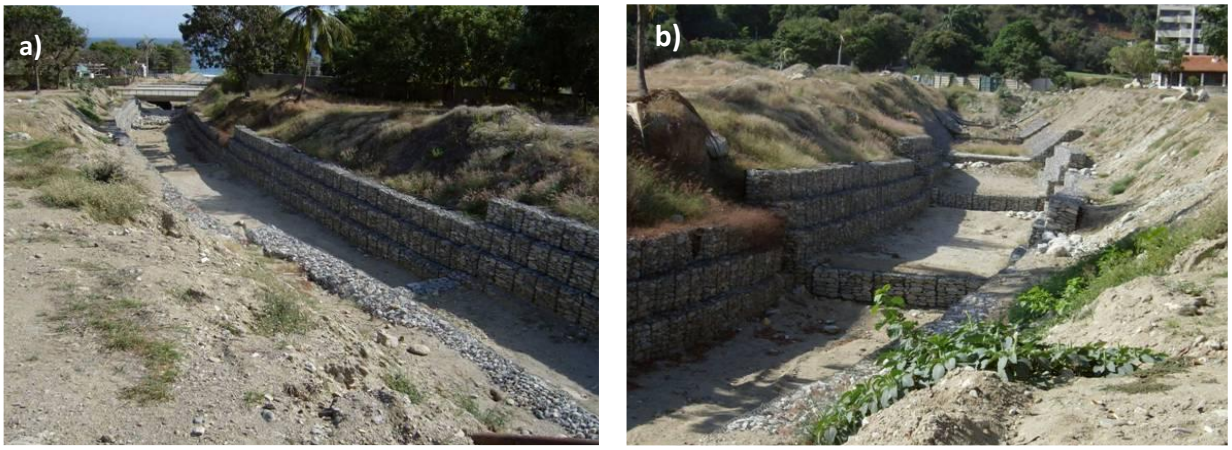


Figura 16. *Vistas de la canalización en gaviones de Quebrada Seca el año 2007: a) tramo aguas abajo en sección rectangular; b) tramo aguas arriba donde se observa la finalización de la sección rectangular y el comienzo del tramo en sección trapezoidal (Fotos de Morassutti, 2010).*

Una fotografía de la Presa N° 4 tomada el año 2007 evidencia asentamientos de los gaviones en su estribo izquierdo, apenas un año después de su construcción (Figura 17). Esto parece haber sido causado por filtraciones en ese estribo que provocaron un fenómeno de tubificación, como se evidencia por las cavidades que se observan al pie del estribo en la fotografía. En visita de campo realizada en junio del 2009, se hicieron las siguientes observaciones en relación a las cuatro presas construidas (López y Sereno, 2009). La primera presa desde aguas abajo (Presa N° 1), es una presa cerrada de gaviones que se encuentra en las cercanías del campo de golf del Club Caraballeda (Avenida Charama). Su altura hasta el vertedero es de 3 m y se encontraba cubierta por abundante vegetación (Figura 18). Una segunda presa (Presa N° 2) se localiza más aguas arriba, pero se encontraba prácticamente en ruinas y no se pudieron establecer sus dimensiones, además de estar colmatada de sedimentos (Figura 19 izquierda). En la tercera presa (Presa N° 3) se pudieron medir las dimensiones, estableciéndose en 4 m de altura y 32 m de largo (Figura 19 derecha). La presa se encontraba totalmente sedimentada y con daños en algunos gaviones. En los alrededores se observaban algunas viviendas en ruinas. La siguiente presa aguas arriba es

la Presa N° 4, de 8 m de altura y 53 m de largo. Una abundante vegetación rodeaba esta presa, que se muestra en la Figura 20. Para la fecha, junio 2009, la presa parecía encontrarse en buenas condiciones. Sin embargo, en la vista lateral de la foto (Figura 20) se aprecia que la presa parece estar desalineada, debido a la inclinación del estribo izquierdo por los asentamientos mostrados en la Figura 17.

En un informe elaborado por la Protección Civil de la Alcaldía del Municipio Vargas el año 2014 se reportaba el colapso de las presas (Protección Civil Vargas, 2014).

En vista efectuada en marzo 2016 por investigadores del IMF se pudo constatar el avance en el deterioro de las obras y el colapso de algunas de ellas (Noguera, et al., 2016). Las fotos de la Figura 21 muestran el estado de las presas N° 2 y N° 3, la primera (izquierda) destruida totalmente y la segunda (derecha) en estado avanzado de deterioro. Esta última se encuentra a un costado de la denominada casa del curandero.



Figura 17. *Fotografía desde aguas abajo de la presa de Quebrada Seca el año 2007, mostrando asentamientos en los gaviones del estribo izquierdo (Morassutti, 2010).*



Figura 18. *Izquierda: fotografía de la Presa N° 1 de Quebrada Seca el año 2009 (vista desde aguas abajo), mostrando atarquinamiento por los sedimentos y abundante vegetación. Derecha: vista desde la presa hacia el tramo del cauce aguas abajo, cubierto por la vegetación.*



Figura 19. *(Izq.) Vista de la Presa N° 2 de Quebrada Seca, colmatada y con graves daños en su estructura; (Der.) Vista de la Presa N° 3 totalmente sedimentada y presentando daños en algunos gaviones (fotos de 2009).*



Figura 20. *Vista lateral de la Presa N° 4 de Quebrada Seca, la cual se encontraba aparentemente en buen estado en el momento de la visita del 2009 (la vegetación impedía una mejor inspección). Se nota una falta de alineamiento en el eje de la presa, debido posiblemente a los asentamientos del estribo izquierdo.*



Figura 21. *Restos del dique de gaviones de la Presa N° 2 (izquierda), la cual está colapsada, y vista de la Presa N° 3 en avanzado estado de deterioro (fotos marzo 2016).*

En la visita reciente efectuada por nosotros el 28/07/26 se pudo verificar el estado de algunas de las presas. La Presa 1 se encuentra totalmente sedimentada y con bastante deterioro en los gaviones, que han perdido una parte de sus mallas por vandalismo. La Presa 2 se encuentra en ruinas, envuelta por la maleza, y la Presa 3 no pudo ser ubicada por lo denso de la vegetación, pero se supone derruida. De la Presa 4 se encontraron pocos restos de gaviones y dos tubos de concreto de 0,90 m de diámetro que constituían las barbacanas de la presa para alivio de subpresiones. Las fotos de la Figura 22 muestran fotos de estas presas en la visita efectuada el 28/07/26.

Según información suministrada por habitantes de la zona, la obra más importante del conjunto de obras, la Presa N° 4, de 8 m de altura fue dañada fuertemente por las lluvias de noviembre del 2010 y se derrumba por completo en el año 2011.

La comparación de las fotos de la Figura 23 con las fotos de la Figura 16 evidencia el deterioro de la capacidad de conducción de la canalización debido a la invasión de vegetación con presencia de árboles en el cauce. El puente se observaba para esa fecha (marzo 2016) bastante sedimentado (ver foto en Figura 23).

En la visita reciente a la canalización, realizada el 30/07/26, se pudo apreciar el estado deplorable en que esta se encuentra, con alto grado de sedimentación y colonizada por la vegetación, con arbustos y árboles dentro del cauce y mucha basura (ver Figura 24).



Figura 22. *Vistas de las presas encontradas en la inspección del 28/07/26: Presa No. 1 sedimentada y con daños en gaviones; Presa No. 2 en ruinas; Presa N° 4 colapsada por las lluvias del 2010 y 2011. No se encontraron rastros de la Presa No. 3 por lo denso de la vegetación, pero se supone derruida. En la foto inferior se observan restos de dos tubos de concreto de 36" que servían como barbacanas en la Presa No. 4.*



Figura 23. *Reducción de la capacidad de la canalización y del puente debido a sedimentación, escombros y crecimiento de árboles dentro del cauce (fotos marzo 2016).*



Figura 24. *Estado deplorable en que se encuentra la canalización de Quebrada Seca colonizada por la maleza y arbustos, y presencia de desechos sólidos (fotos tomadas el 30/07/26).*

2.7 Colapso de la presa de Camurí Grande

La Presa Nº 3 en el río Camurí Grande es una presa cerrada de gaviones de 4 m de altura y 42 m de ancho, construida el año 2007. En visita efectuada en mayo 2011, se evidenció que la presa se encontraba totalmente sedimentada y que un deslizamiento había dañado una porción significativa del cuerpo principal de la presa (dique y contradique), removiendo prácticamente el estribo derecho junto con 3 filas superiores de gaviones del dique principal y 2 filas del contradique (ver foto izquierda en Figura 25. Los daños fueron causados por

desprendimientos de rocas de la ladera que se produjeron con las lluvias de diciembre 2010. Observaciones hechas en octubre de 2017 indican que la brecha se amplificó y se extendió verticalmente hasta llegar al fondo del cauce, habiendo sido removidos por los flujos las dos filas restantes de la base de gaviones que permanecían en pie (Figura 26). Sin embargo, esto tuvo un efecto positivo en limpiar de sedimentos el tramo aguas arriba de la presa. Los flujos posteriores a la apertura de la brecha produjeron la remoción parcial del material sedimentario acumulado en el vaso, mediante un efecto de erosión regresiva. Se estimaba, para esa fecha (octubre 2017), que el 50% de los sedimentos habían sido removidos del vaso de la presa y esta había recuperado una parte importante de su capacidad de retención.

En la visita realizada el 03/08/26 se pudo observar que la brecha se expandió lateralmente, posiblemente con las lluvias torrenciales del 2018 y 2022, destruyendo prácticamente el resto de la presa, incluyendo el contradique, quedando solamente en pie aproximadamente 1/3 del dique principal (ver Figura 27).



Figura 25. *Daños por impacto de bloques producto de derrumbes en el talud derecho de la Presa Nº 3 del río Camurí Grande. Foto izquierda mirando la brecha desde aguas abajo hacia aguas arriba (11/05/11). Foto derecha, recién construida la presa en mayo 2008.*



Figura 26. *Vista desde aguas arriba de la brecha en la Presa Nº 3 del río Camurí Grande: a) Foto tomada el 2011; b) Foto tomada en 2017. Se observa el crecimiento de la brecha por abrasión del material y profundización del cauce por erosión regresiva.*



Figura 27. Vista desde aguas abajo de los restos de la Presa Nº 3 del río Camurí Grande en la visita efectuada el 03/08/26.

2.8 Erosión aguas abajo de la presa de Camurí Chico

La única presa de Camurí Chico es una presa abierta construida en engavionado de 6 m de altura, culminada en agosto del año 2003, provista de 7 ventanas de 4 m de altura por 1 m de ancho, y una abertura central de dimensiones 4 m x 4 m. La presa es una mezcla de ranuras de concreto armado y un cajón de concreto armado de acceso, construidos en una matriz de gaviones La ventana central esta provista de elementos verticales de acero, removibles para permitir el paso de maquinarias (Figura 28).

Las fotos de la Figura 29 muestran el estado de la presa y los efectos de la creciente de febrero del 2005. Para ese momento no se había construido la estructura central de la presa. Los flujos torrenciales movilizaron una gran cantidad de cantos rodados y peñones que se acumularon en las ventanas laterales, bloqueando parcialmente algunas de las mismas. Se observa una acumulación de casi 3 m de altura de sedimentos gruesos en las ventanas laterales, la cual disminuye en dirección hacia la abertura central donde el material fue activamente removido, apreciándose ciertos daños del engavionado en este sector.



Figura 28. *Vista desde aguas abajo (izquierda) y desde aguas arriba (derecha) de la presa abierta de Camurí Chico (fotos tomadas en 2009).*



Figura 29. *Vista desde aguas arriba de la acumulación de sedimentos en las ventanas de la presa en el río Camurí Chico (todavía inconclusa en el momento de la foto, febrero 2005).*

Los aludes torrenciales que ocurrieron el año 2005 encontraron entonces a una presa incompleta que funcionó como una presa mixta, con ventanas en una parte de la estructura y con una ranura central en el medio de la presa. Sin embargo, el comportamiento de la estructura fue satisfactorio, los gaviones en la ranura central, sin recubrimiento de concreto, sufrieron daños menores fáciles de reparar (ver foto derecha en Figura 29). La presa actuó adecuadamente, reteniendo sedimentos en los laterales del dique donde se acumularon peñones hasta una altura de 3 m, que obstruyeron parcialmente algunas de las ventanas, pero permitiendo al paso del flujo principal de agua y sedimentos por la abertura central. Adicionalmente, el estrangulamiento del flujo causado por la presa generó un remanso hacia aguas arriba que contribuyó a depositar una parte importante de su carga sedimentaria. Esto puede apreciarse en los perfiles del lecho, obtenidos mediante levantamientos topográficos efectuados posteriores al 2005. La Figura 30 muestra el perfil del cauce antes de la construcción de la presa y el perfil medido en mayo del 2008 (López et al., 2010). En esta comparación se observa la agradación que ha sufrido el cauce aguas arriba inducido por el efecto de remanso creado por la presa. En la Figura 31 se aprecian los cambios en la sección transversal del cauce para diferentes secciones ubicadas a 5, 10, 20 y 40 m aguas arriba del pie de la presa.

Se estima que el grado de sedimentación actual de la presa es del orden de un 70%.

Al pie de la presa se ha producido un descenso significativo del lecho, causado por el efecto de las aguas claras que escurren durante el proceso de sedimentación (Figura 32). Al ser retenida su carga solida aguas arriba, los flujos hambrientos de sedimentos erosionan el material del lecho para satisfacer su capacidad de arrastre. La degradación general del lecho fue medida al pie de la presa el año 2011 en aproximadamente 3,5 m. Se cree que estos procesos erosivos fueron generados por las lluvias del 2010. Este descenso del lecho ha podido evitarse de haberse construido la estructura de disipación de energía prevista para proteger el tramo aguas abajo de la presa. El pozo disipador estaba conformado por una cuadricula de vigas de concreto armado de sección 1 m x 1 m las cuales conforman un tablero de 18 cuadros de dimensión 5,50 m x 5,30 m cada uno, rellenos con grandes rocas (peñones) obtenidas en sitio.

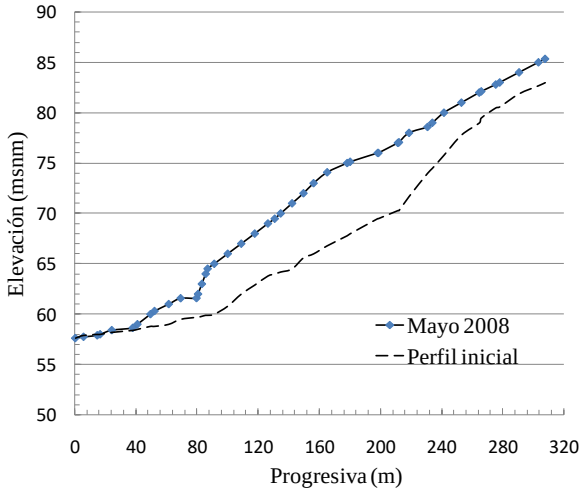


Figura 30. *Perfiles longitudinales mostrando la acumulación de sedimentos y la evolución del lecho del río aguas arriba de la presa de Camurí Chico, para mayo del 2008.*

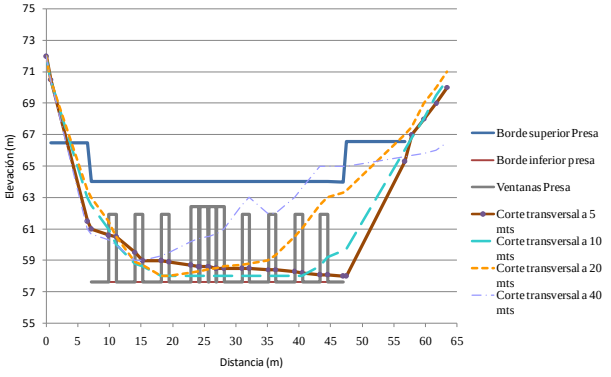


Figura 31. *Variación en las secciones transversales del cauce aguas arriba de la presa Camurí Chico en mayo del 2008.*

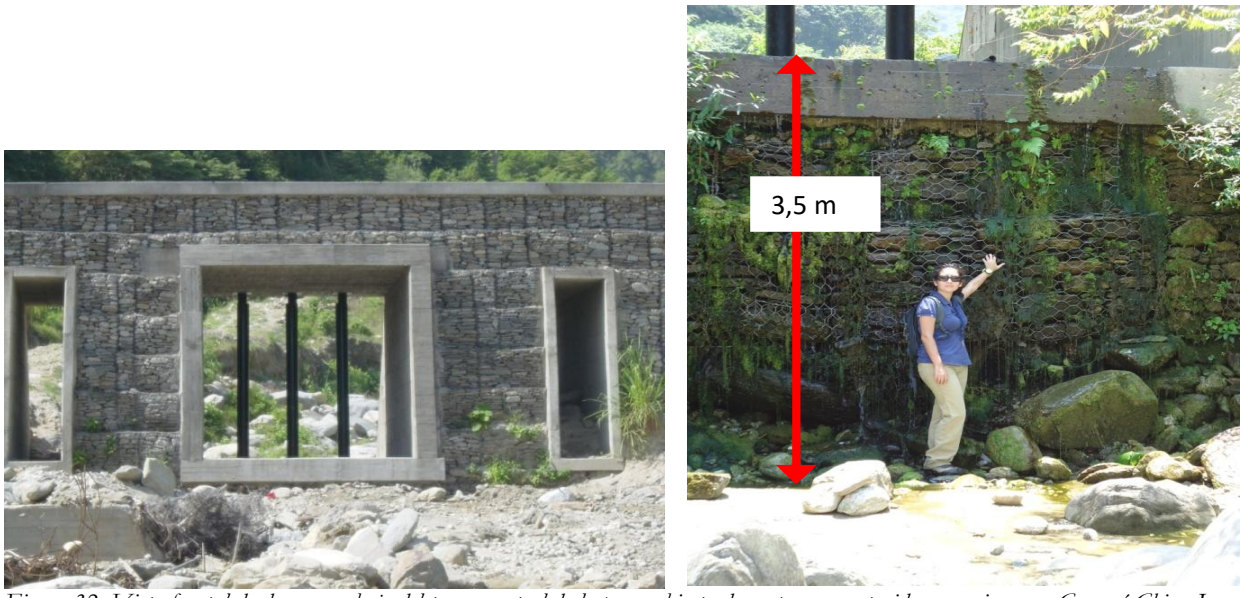


Figura 32. Vista frontal desde aguas abajo del tramo central de la presa abierta de ventanas construida en gaviones en Camurí Chico. La abertura central es un cajón de concreto provisto de tubos verticales de acero, removibles, para permitir el paso de maquinarias. Foto (izq.) tomada en 2007 muestra el lecho al mismo nivel de la ventana. Foto (der) tomada en 2011 muestra erosión de 3,5 m. por degradación general del lecho causada por los flujos de aguas claras en la creciente de diciembre de 2010.

La foto izquierda de la Figura 33 muestra la presa en proceso de construcción, observándose la ausencia del tramo central de la obra de disipación, el cual estaba previsto en los planos de proyecto, pero no se construyó. La foto de la derecha (Figura 6), tomada el 2011, permite observar el descenso del lecho (degradación general) en este sitio, al cual dejó las vigas prácticamente en el aire, con las cabillas expuestas, por no haberse completado la construcción de la obra.

Las fotos de la Figura 34, presentan vistas frontales de la estructura para el año 2011 y para el momento de la visita realizada el 28/07/26. La comparación de fotos parece indicar que no ha habido un incremento en el descenso del lecho. Por el contrario, pareciera que se ha rellenado un poco el lecho al pie de la presa. Sin embargo, el gavión que le sirve de base a la estructura de la presa se encuentra suspendido en el aire, sin contacto con el lecho, y la malla muestra signos de deterioro (Figura 34). La distancia entre el fondo del gavión y el lecho es cercana a 1 m. El descenso del lecho al pie de la presa se ha medido en 3,5 m (Figura 34). El descenso del lecho en la estructura de disipación se ha medido en 1,70 m (Figura 35).



Figura 33. *Vista de la presa abierta de Camurí Chico en proceso de construcción el año 2003 (izquierda). Se observa la ausencia del tramo central de la estructura de disipación de energía en forma de una malla de vigas de concreto armado, rellena con peñones, para evitar la erosión y darle protección al cuerpo de la presa. La foto de la derecha (2011) muestra el descenso del lecho y la erosión general del tramo central de la estructura de disipación, por no haberse completado la construcción de dicha obra.*

Se nota también en la Figura 34 la ausencia de los tubos verticales removibles en el cajón central (ver foto en Figura 32) los cuales ya no existen. Se supone que fueron sustraídos.



Figura 34. *Comparación del descenso del lecho al pie de la presa abierta de Camurí Chico, entre los años 2011 y 2026. Note la ausencia de los tubos verticales en el cajón central.*



Figura 35. *Vista cercana de la socavación al pie de la presa (izquierda). El gavión que sirve de fundación está suspendido en el aire, a 1 m sobre el nivel del lecho. La estructura de disipación (derecha) se encuentra también suspendida con una profundidad de socavación de 1,70 m. Fotos del 14/08/26.*

Se concluye que la estabilidad de la estructura de retención está en peligro. En caso de ocurrir una crecida extraordinaria, el flujo pudiera incrementar la profundidad del socavón en la abertura central y poner en peligro la estabilidad de la presa, la cual pudiera fallar por volcamiento. Por otro lado, en caso de obstrucción de la abertura central por arrastres de ramas y troncos de árboles, el flujo pudiera pasar por debajo de la presa, aprovechando el socavón existente que ha dejado suspendida la fundación.

Las medidas correctivas deben concentrarse en evitar que el socavón siga creciendo, para lo cual lo más recomendables seria completar la estructura de disipación que quedó inconclusa. Esto implica construir el enrejado original de vigas faltantes y unirlas a los extremos de las vigas existentes a cada lado. Como medida de emergencia, se puede pensar en rellenar el socavón existente aguas abajo, el cual se extiende por una longitud cercana a los 50 m, con rocas o peñones de gran tamaño (no menor a 1,5 m). Los escombros de los edificios colapsados por el terremoto, tales como elementos de concreto (vigas, columnas, losas), pudieran también ser utilizados para rellenar el tramo socavado mezclados con rocas de gran tamaño.

2.9 Erosión aguas abajo de la presa de El Tigre

En la quebrada El Tigre, un afluente del río Mamo, se construyó el año 2006 una presa cerrada de gaviones de 7 m de altura (hasta el vertedero) provista de un pozo amortiguador con altura de muros igual a 4 m. y doce (12) tacos (bafles) disipadores de energía. El dique principal tiene también cinco (5) tubos de acero de Ø 600 mm como mechinales en el cuerpo de la presa. La presa se encuentra a 160 m de la confluencia con el río Mamo.

La Figura 37 muestra una vista frontal de la presa de gaviones con su recubrimiento de concreto en el tope de la estructura. A la derecha de la figura se muestra el pozo disipador el cual se encontraba parcialmente sedimentado. La presa se encontraba también con un grado de sedimentación estimado en un 60% para el momento de la visita en abril, 2016 (González et al., 2016). La Figura 38 muestra el plano del perfil longitudinal del proyecto de la presa de retención de sedimentos de la quebrada El Tigre, elaborado por MGA Ingenieros.



Figura 37. *Vista frontal (parcial) de la presa de El Tigre (foto izquierda), una obra de gaviones de 7 m de altura a nivel del vertedero, provista de un pozo disipador en concreto armado (foto derecha).*

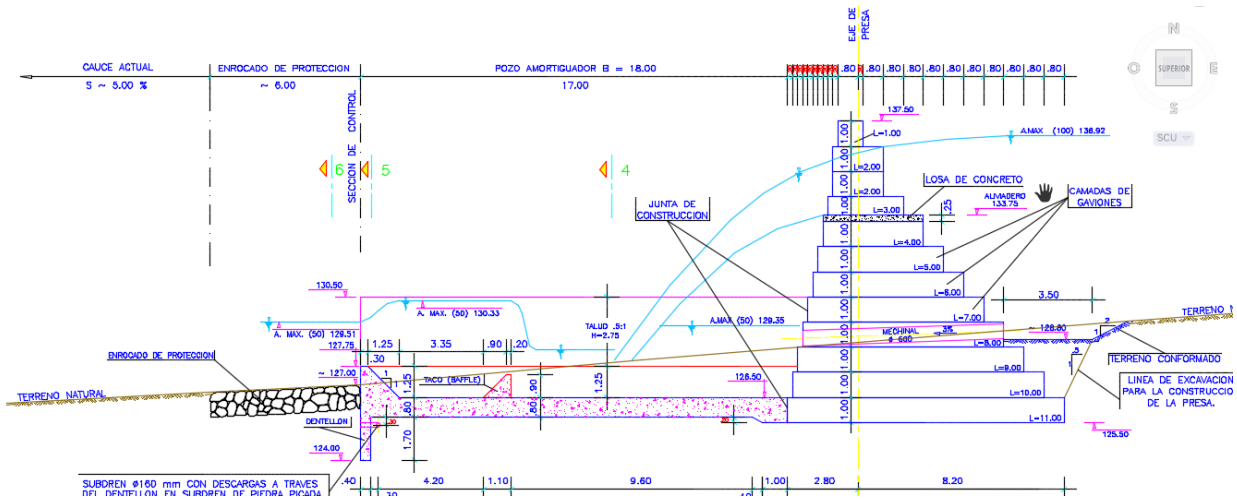


Figura 38. *Corte longitudinal del proyecto de la presa de retención de sedimentos de la quebrada El Tigre, elaborado por MGA Ingenieros, mostrando el dique de gaviones y el pozo disipador.*

De acuerdo al plano de la Figura 38, el nivel del lecho aguas abajo de la obra, ha debido estar al mismo nivel del fondo de concreto del pozo disipador.

Las fotografías de la Figura 39 de abril 2016, muestran el formidable descenso del lecho que ha sufrido el tramo inmediato aguas abajo de la estructura disipadora, estimado en 4,5 m al pie del muro que sirve de soporte a la estructura de disipación. Se piensa que este descenso del lecho ha sido causado mayormente por la explotación de material granular que se realiza a corta distancia aguas abajo de la presa. Aunque los flujos de aguas claras pasando por el vertedero durante las

crecientes del 2010 y 2011 pueden haber contribuido al fenómeno erosivo, el descenso del lecho es demasiado grande para atribuírsele solo a los flujos anteriores.

Las imágenes satelitales de las figuras 40 y 41, de fecha diciembre 2012, muestran la ubicación de la presa y de los sitios donde parecen tener lugar las actividades de extracción de la empresa arenera. Se muestran dos sitios de explotación sobre el río Mamo y un sitio sobre la Quebrada El Tigre, este último ubicado aproximadamente a 120 m de distancia del muro donde finaliza la estructura de disipación de la presa (ver Figura 41). Es muy probable que la remoción de grava y arena haya generado un proceso de erosión regresiva que provocó la degradación general del fondo del cauce en el tramo aguas arriba del sitio de extracción, y cuyo avance fue detenido por el dentellón del muro de la estructura de disipación. En la foto izquierda de la Figura 39 se observa a dos personas paradas sobre el enrocado de protección, el cual descendió unos 4,5 m de su lugar inicial (ver perfil del muro en Figura 38).



Figura 39. *Vista del descenso del lecho aguas abajo de la estructura de disipación de energía de la Presa El Tigre. Vista lateral (foto izquierda) y vista frontal (foto derecha). Se estima un descenso del lecho de 4,5 m al pie del muro o dentellón que sirve de fundación a la estructura de disipación. Fotos de abril 2016.*



Figura 40. *Imagen satelital mostrando el sitio de explotación de la empresa arenera sobre el cauce de la quebrada El Tigre. Se observa el dique principal de la presa y el muro donde finaliza la estructura de disipación (Google Earth, 2012).*



Figura 41*. Vista cercana de la imagen satelital de Google Earth mostrando el sitio de explotación de la empresa arenera sobre el cauce de la quebrada El Tigre, a 120 m aguas abajo del sitio de presa, donde termina el muro de la estructura de disipación.*

Las fotografías de la Figura 42, presentan el estado en que encontraba la obra en la visita realizada el 19/08/26. El muro del pozo disipador apenas era visible debido a la densa vegetación. El grado de sedimentación de la presa era del 100%.



Figura 42. *Vistas del dique principal de la presa de gaviones (izq.) y del muro del pozo disipador (derecha), en la inspección realizada el 19/08/26.*

2.10 Erosión aguas abajo del dique-toma de Hidrocapital en Naiguatá

A unos 900 m aguas arriba de la presa de Naiguatá, se encuentra el dique-toma de Hidrocapital, construido el año 2000 para suministro de agua potable a la población de Naiguatá. En la visita al dique-toma del río Naiguatá, efectuada el 28/08/26, se pudo apreciar un proceso de degradación general del lecho que ha tenido lugar en el tramo inmediato aguas abajo del dique (Figura 43). El descenso del lecho se estima entre 5 y 6 m al pie del dique. Esta profundidad de

erosión no obedece a un fenómeno de socavación local producido por los flujos que pasan sobre el vertedero del dique.

Se piensa que el descenso del lecho es el resultado de un fenómeno de erosión regresiva, causado por las actividades de extracción de material granular que realiza la empresa arenera que tiene sus instalaciones aguas abajo en ese sector.

La Figura 44 muestra el tramo de explotación y extracción del material granular (gravas y arenas), en una imagen del 2017, el cual se extiende aproximadamente por 2 km a lo largo del cauce aguas arriba de la presa. En el medio del tramo se localiza la obra de toma.

Las fotografías de la Figura 45 ilustran el estado en que se encontraba la obra de toma para los años 2012 y 2019, notándose que no se había iniciado el proceso erosivo. Se aprecia una diferencia en la estructura entre las fotos antiguas (2012, 2019) y la foto actual (2026). En la foto del 2026 (Figura 43), aparece una losa de fondo y un tramo de muro lateral que no se aprecian en las fotos anteriores. Se piensa que estas obras fueron hechas posteriormente para intentar contrarrestar el proceso erosivo que se manifestó después del 2019.



Figura 43. *Vista del dique-toma de Hidrocapital en Naiguatá, apreciándose un extraordinario descenso del lecho aguas abajo, estimado entre 5 y 6 m al pie del dique (foto del 28/08/26).*



Figura 44. *Ubicación del dique-toma de Hidrocapital sobre el río Naiguatá, a unos 900 m aguas arriba de la presa de retención de sedimentos. Observe el tramo de intervención de la arenera que se extiende aguas abajo y aguas arriba del sitio de la obra de toma (imagen Google Earth del 2017).*



Figura 45. *Vistas antiguas del dique-toma sobre el río Naiguatá. Izquierda: año 2012 (foto de Diego Suarez); Derecha: año 2019 (Foto de Edgar López), mostrando el estado del dique para esas fechas.*

2.11. Fallas de losas y traviesas en canalizaciones

Las canalizaciones de los ríos Camurí Grande y Migueleno, consisten en un canal de fondo móvil de sección trapecial con taludes recubiertos de roca cementada, provista de un conjunto de traviesas para control de erosión del lecho, separadas aproximadamente entre 30 y 40 m, construidas también en roca cementada.

Las fotos de la Figura 46 muestran el agrietamiento y la fractura de algunas de las traviesas o caídas que forman parte de la canalización del rio Camurí Grande. El colapso de la traviesa ha sido producido por la erosión al pie de la estructura, fenómeno que se observa en las fotos mencionadas.



Figura 46. *Agrietamientos y colapso de traviesas en la canalización del rio Camurí Grande.*

La canalización del río Naiguatá se hizo en sección trapecial con revestimiento de concreto armado tanto en el fondo como en sus márgenes. Desde el puente de la avenida Costanera, a la entrada a la población de Naiguatá, se observan daños en las losas de concreto del fondo de la canalización. La comparación de las fotos de la Figura 47, tomadas en los años 2010, 2011, 2017 y 2020, muestran el progreso del deterioro de la canalización en este tramo, y la ampliación de un camino de acceso que ha sido construido sobre el fondo del canal para darle paso a los camiones y maquinarias de una arenera que opera en la zona aguas arriba de la canalización. La falla de las losas es una falla típica de subpresiones, originada posiblemente por filtraciones a través de las juntas que levantaron las losas del fondo de concreto.



Figura 47. *Secuencia de imágenes mostrando la evolución de los daños en las losas de la canalización del río Naiguatá. Fotos de diciembre 2010, mayo 2011, diciembre 2017 y enero 2020.*

La canalización del rio Camurí Chico se hizo en concreto, con sección trapecial, y se inicia a unos 100 m aguas abajo de la única presa que se construyó en esta cuenca. El canal presenta un tramo superior escalonado con caídas de 1 m de altura. En la visita efectuada el 28/07/26 se pudo apreciar que en el fondo se han generado socavones producto de la abrasión del recubrimiento de concreto y de la erosión del flujo. El acero se observa expuesto en casi todo el tramo visitado del canal, y los fenómenos erosivos parecen haber abierto una canaleta central (Figura 48).

Problemas similares de abrasión se observan en la canalización del rio Mamo, construida en concreto armado con sección trapecial, tal como se muestra en la Figura 49.



Figura 48. *Tramo superior de la canalización del rio Camurí Chico, observándose cabillas expuestas y socavones en el lecho con pérdida del recubrimiento de concreto debido a la abrasión. Fotos del 14/08/26.*

.



Figura 49. *Problemas de abrasión del fondo de concreto en la canalización del rio Mamo. Fotos del 19/08/26.*

2.12 Colapso de traviesas en un tramo del rio San Julián

La canalización del rio San Julián ha sufrido daños importantes en el tramo que se ubica frente a la Brigada Ecológica Ambientalista Yuru Tope, en Los Corales. La canalización consiste en un canal trapecial de fondo móvil (cauce natural) recubierto de roca cementada en las márgenes, y provisto de traviesas para controlar la erosión del lecho.

La Figura 50 presenta imágenes de la fractura que ha sufrido el talud de la canalización sobre su margen derecha. Las fracturas se han producido por la erosión que está sufriendo el lecho del rio en este tramo, por lo que las losas han perdido su base de apoyo.



Figura 50. *Vista de fractura de losas del talud sobre la margen derecha de la canalización del rio San Julián, frente a la Brigada Ecológica Ambientalista Yuru Tope,*

La Figura 51 presenta una vista del tramo mencionado, separado por dos traviesas. La separación de las traviesas se midió aproximadamente en 30 m. La foto de la izquierda muestra la Traviesa 1, aguas arriba, y la foto derecha la Traviesa 2, aguas abajo. El fondo del lecho ha descendido una profundidad cercana a los 2 m, y las dos traviesas han perdido su base de apoyo. El flujo está discurriendo por debajo de la Traviesa 2 aguas abajo (foto derecha).





Figura 51. *Vista de traviesas erosionadas en su base, al pie del lecho de la canalización en un tramo de unos 30 metros del rio San Julián. Foto izquierda: traviesa aguas arriba del tramo; Foto derecha: traviesa aguas abajo del tramo. Se aprecian también daños en los taludes del canal en su margen derecha.*

La foto de la Figura 52 presenta una vista cercana de la traviesa aguas arriba, donde el descenso del lecho o profundidad de erosión se ha estimado en 3 m.

Las fotografías de la Figura 53 muestran el descenso del lecho en la traviesa aguas abajo. Esta se encuentra prácticamente suspendida en el aire, al haberse erosionado el fondo del cauce que le servía de base. El flujo discurre por debajo de ella, con peligro de que termine por colapsar en cualquier momento con el paso de una crecida.



Figura 52. *Vista cercana de la Traviesa 1 aguas arriba, mostrando el descenso del lecho al pie de la estructura.*





Figura 53. *Vista cercana de la Traviesa 2 aguas abajo. El flujo erosiono el lecho y abrió un canal por debajo de la estructura. La profundización del lecho se estima en unos 2,5 m, aproximadamente.*

Según información suministrada por los vecinos, los daños en la canalización ocurrieron a consecuencia de la creciente del 28 de octubre de 2022.

Se piensa que el fenómeno ocurrió en la forma siguiente. El flujo de la creciente comenzó erosionando el sedimento del lecho al pie de la traviesa aguas abajo, debido a que la siguiente traviesa está ubicada a una distancia muy lejana, a unos 100 m hacia abajo. Esta erosión al pie de la caída fue de tal magnitud que el flujo abrió un boquete por debajo de la traviesa, indicándose entones un proceso de erosión regresiva que se transmitió aguas arriba hasta alcanzar la primera traviesa. La degradación del lecho se concentró hacia la margen derecha del rio, lo cual ocasionó el colapso de la losa del talud conformado por roca cementada, que al descender el lecho perdió su base de apoyo y se fracturó.

Con la venida de las próximas crecientes, el flujo va a continuar erosionando la Traviesa 1 hasta conseguir pasarle por debajo, con lo cual el proceso de erosión regresiva se seguirá transmitiendo hacia aguas arriba. Adicionalmente, puede ocurrir el desprendimiento de las losas, que pudieran ser arrastradas por las crecientes y obstruir el cauce aguas abajo en el sitio de puente, incrementando los riesgos de desbordamiento del flujo.

2.13 El macro-deslizamiento de la quebrada La Chara

Un deslizamiento de grandes proporciones se generó en el cerro San Julián en la parroquia de Caraballeda. La cuenca del río San Julián fue afectada por lluvias de intensidad moderada desde noviembre 2010, las cuales se hicieron intermitentes hasta el mes de mayo 2011, alcanzando gran intensidad el Domingo 1° de mayo. El deslizamiento se hizo visible a partir del 5 de mayo del 2011 (Gómez, 2011).

El movimiento de masas se ubica en las laderas de la quebrada La Chara, a una elevación cercana a 500 m, y amenaza a numerosas familias ubicadas aguas abajo en las comunidades de Santa Bárbara, Las Trillas, La Charita y La Miel (Figura 54). La quebrada La Chara es un afluente del río San Julián, donde se construyeron tres grandes presas abiertas de retención de sedimentos. La quebrada confluye con el río San Julián por su margen derecha en un sitio ubicado entre las presas 1 y 2.

La Figura 55 presenta una vista más reciente, desde Los Corales, del macro-deslizamiento en la cuenca de la quebrada La Chara. En la actualidad ha sido colonizado por la vegetación, pero continúa siendo un peligro para las comunidades aguas abajo, ya que pudiera activarse en caso de ocurrir lluvias extraordinarias.

Se concluye que las viviendas asentadas en la zona de la confluencia de la quebrada La Chara con el rio San Julián, están en riesgo de inundación por lo que se deben tomar medidas de mitigación. Entre las medidas que pudieran tomarse, se sugieren: a) reubicación de las viviendas asentadas en las cercanías de la confluencia; b) canalización de la quebrada en su tramo inferior; y c) diseño y construcción de presas de retención de sedimentos en la quebrada La Chara.



Figura 54. *Macro-deslizamiento en la cuenca del río San Julián, quebrada La Chara, sector Caraballeda, intensificado a consecuencia de las lluvias del 2011. A) Imagen Google Earth; b) fotografía desde la Avenida Principal de Los Corales; c) fotografía más cercana (fotos del 2011).*



Figura 55. *Macro-deslizamiento en la cuenca de la quebrada La Chara (Foto tomada desde Los Corales el 31-01-25).*

2.14 Las presas en la quebrada Las Pailas

La quebrada Las Pailas presenta un conjunto de 4 presas que han tenido un comportamiento satisfactorio. La Presa No. 1 es una presa abierta de concreto ciclópeo de 7 m de altura, provista de 6 tubos de concreto de 1, 20 m de diámetro, los cuales tienen adosadas unas rejas para retener los arrastres vegetales. Esta obra es una presa antigua, anterior a los deslaves de 1999, posiblemente de la década de los años 50, y se construyó para proteger el aeropuerto de Maiquetía.

Las otras presas fueron construidas el año 2007 y están constituidas por una presa abierta de concreto de 3 m de altura con una ranura central (Presa 2), una presa abierta de concreto de 3 m con 3 ranuras (Presa 3) y una presa de rastrillo con tubos de acero de 4 m de altura, la cual presenta 11 aberturas.

Comenzando con la Presa No. 1, el grado de sedimentación de las 4 presas es de un 50%, 100%, 30% y 10%, respectivamente. Se observa una fuerte socavación al pie del contradique de la Presa No. 2. Las figuras 56 y 57 muestran fotografías de las presas existentes en la quebrada Las Pailas, recién construidas (Figura 56) y tomadas en la visita del 14/08/26 (Figura 57).



Figura 56. *Vista de las presas construidas en la quebrada Las Pailas el año 2007. La Presa 2 es una presa abierta con una ranura central. La Presa 3 es abierta con 3 ranuras. La presa 4 es del tipo de rastrillo con 11 aberturas (Fotos de Diego Suarez).*



Figura 57*. Fotos de las presas existentes en la quebrada Las Pailas, tomadas en la visita del 14/08/26.*

2.15 Impactos del sismo en la infraestructura hidráulica

En las visitas de campo, no se observaron evidencias de fallas en las obras hidráulicas, atribuibles al terremoto del 24-06. Solamente en algunas pocas obras se apreciaron efectos del sismo y fueron ligeros, tales como aparición de grietas o ampliación de algunas grietas existentes en ciertos tramos de las canalizaciones.

En el rio Naiguatá, se observaron impactos del sismo en las juntas de las losas, fracturando y separando algunos paños de la canalización (Figura 58).

En el rio Camurí Grande, al comienzo de la canalización, se observan grietas en la primera traviesa del canal que ya existían, según los habitantes, y se expandieron durante el sismo (Figura 59).

Igual situación se observa en el rio Camurí Grande en Los Corales, en el tramo frente al parque ecológico ambiental Yuru Tope, donde las losas de la canalización en la margen izquierda están fracturadas. Habitantes del sector informan que estas grietas aumentaron de tamaño con el sismo (Figura 59).



Figura 58. *Daños en las juntas de la canalización del rio Naiguatá, atribuidas al sismo del 24/06 (Fotos de Pascual Perazzo).*



Figura 59. *Ensanchamiento de grietas* ***en*** *una traviesa del rio Camurí Grande (izquierda) y en una losa del talud de la canalización del rio San Julián, atribuidas al sismo del 24/06.*

2.16 Impacto hidro-geomorfológico del sismo

Numerosos deslizamientos se generaron en las montañas de las zonas afectadas por el sismo y eran visibles desde las partes bajas de las cuencas (Figura 60). Mediante comparación de imágenes satelitales antes y después del sismo, el grupo GEER (2026) fue capaz de identificar 650 deslizamientos que ocurrieron en el Waraira Repano (macizo Ávila) en el flanco norte de la cordillera de la costa, casi todos ubicados entre Catia La Mar y Naiguatá. La Figura 61 muestra la ubicación de los deslizamientos y el porcentaje de cuenca afectado. Las mayores densidades de deslizamientos, entre 4 y 5%, se ubican en las cuencas de los ríos San Julián y El Cojo, que drenan hacia las poblaciones de Caraballeda y Macuto, respectivamente. Los resultados indican que la mayoría de los movimientos en masa ocurrieron en las partes altas de la montaña.

Desde el punto de vista hidro-geomorfológico, estos deslizamientos constituyen una amenaza latente porque son fuentes de sedimentos que pueden ser arrastrados fácilmente aguas abajo con la ocurrencia de lluvias torrenciales. La presencia de arrastres vegetales (ramas y troncos de árboles), muy frecuente en estos deslizamientos, pudieran contribuir a la obstrucción de los cauces y generar diques naturales, que al romperse darían origen a aludes torrenciales.



Figura 60. *Deslizamientos recientes que aparecieron después del sismo en la montaña del Parque Waraira Repano (cuenca del rio El Cojo en Macuto). Fotos de Carlos León.*

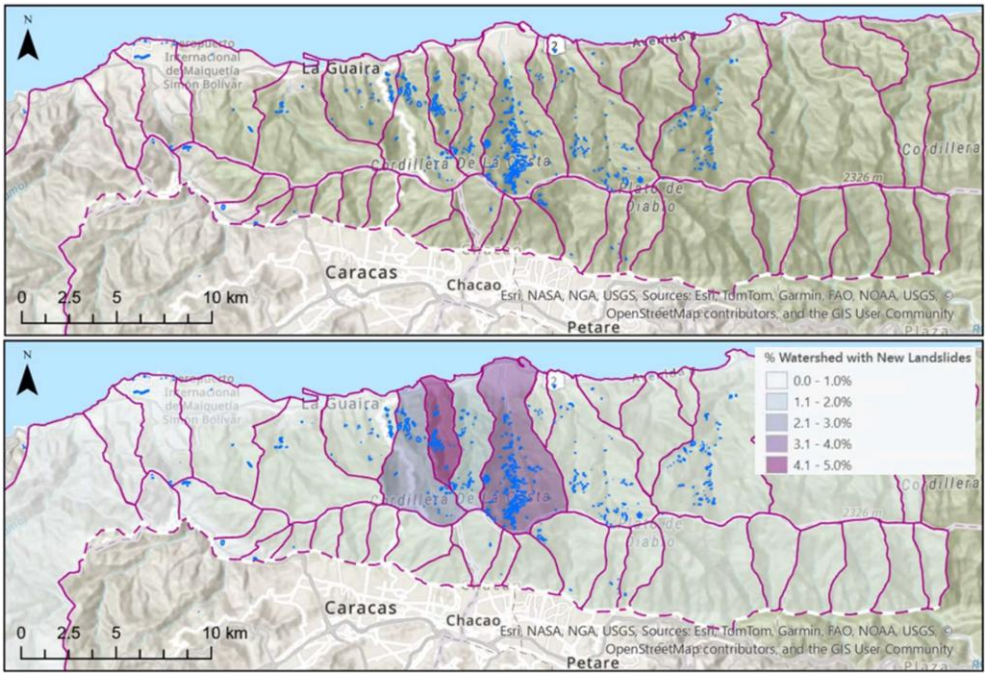


Figura 61. *Localización de los deslizamientos generados por el sismo del 24/06/26 y porcentaje de afectación relativa al área de cada una de las cuencas (GEER, 2026).*

4 SÍNTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Inspecciones de campo. En un periodo de 6 semanas, entre el 21/07/26 y el 28/08/26, se visitaron 28 ríos o quebradas donde se ubican 64 presas de control de sedimentos que forman parte de las obras existentes en el Estado La Guaira para mitigación de riesgos de aludes torrenciales. También se visitaron algunas de las canalizaciones que forman parte de este sistema.
2. Características de las obras. Se identificaron 36 presas cerradas y 28 presas abiertas. De acuerdo a su función, 29 de las presas cerradas cumplen la tarea de retención de sedimentos y 7 de control de erosión. De acuerdo al tipo de abertura, de las 28 presas abiertas, 11 son de rastrillo, 9 de ranura, 5 de ventana, 1 de reticulado y 2 de anillos de acero. De acuerdo al tipo de material, 43 son de gaviones, 16 de concreto, 3 de tubos de acero y 2 de redes de anillos de acero.
3. Las presas salvan vidas. Se hace énfasis en que las presas construidas después de los deslaves de Vargas en 1999, han salvado vidas. Las 7 presas construidas en las quebradas Piedra Azul y Curucutí retuvieron 100.000 m^3 de sedimentos durante las lluvias torrenciales de febrero del 2005, salvando a la población de Maiquetía de un nuevo desastre. Las 6 presas construidas en los ríos Camurí Grande y Migueleno, retuvieron 160.000 m^3 de sedimentos arrastrados por los flujos torrenciales del 2010, y evitaron una nueva tragedia en la población de Camurí Grande (López, 2010; López, 2021).
4. Impactos del terremoto del 24/06/26.

- No se observaron evidencias de fallas en las obras hidráulicas, atribuibles al terremoto del 24-06. En pocas obras se apreciaron efectos del sismo y fueron ligeros, tales como ampliación de algunas grietas existentes en ciertos tramos de las canalizaciones. Ese es el caso del río Naiguatá, en su desembocadura, el rio Camurí Grande al inicio de su canalización, y el rio San Julián, en el tramo frente al parque ecológico ambiental Yuru Tope en Los Corales. Desde el punto de vista hidro-geomorfológico, el mayor impacto del sismo fue la generación de numerosos deslizamientos en la montaña, que constituyen una amenaza latente porque son fuentes de sedimentos que pueden ser arrastrados fácilmente aguas abajo con la ocurrencia de lluvias torrenciales. El estudio del grupo GEER (2026) identificó un total de 650 movimientos en masa generados por el terremoto en el flanco norte de la cordillera de la costa, entre Catia La Mar y Naiguatá.
- Los impactos en las obras que se describen a continuación, son todos debidos a las lluvias torrenciales que han ocurrido en la región después de los deslaves de 1999.

5. Colapso de presas. En total, seis presas han sido destruidas o se encuentran en ruinas:
   - Presa No 1 del rio Anare por las lluvias del 2005.
   - Presa No 2 del rio Anare por las lluvias del 2005.
   - Presa No. 2 de Quebrada Seca por las lluvias del 2010 y 2011.
   - Presa No. 3 de Quebrada Seca por las lluvias del 2010 y 2011.
   - Presa No. 4 de Quebrada Seca por las lluvias del 2010 y 2011.
   - Presa No. 3 de Camurí Grande por las lluvias del

2010, 2011 y 2022.

Las 6 presas colapsadas son presas construidas en gaviones. Las presas del rio Anare colapsaron porque su estribo izquierdo estaba fundado en una terraza aluvial y el flujo de la crecida de febrero del 2005 sobrepasó el vertedero, erosionando dicho estribo y haciendo un desvió lateral (bypass) que abrió un nuevo cauce por su margen izquierda. La Presa No. 4 de Quebrada Seca fue destruida por un problema de tubificación que se generó en el estribo izquierdo y que no fue reparado a tiempo. La falla de la Presa No. 3 del río Camurí Grande se asocia al impacto de rocas desprendidas de la ladera durante las lluvias del 2010, las cuales dañaron tres filas de gaviones en aproximadamente ¼ del cuerpo de la presa. No se realizaron labores para corregir el daño en los gaviones y las crecidas posteriores del 2022 terminaron por destruirla. No se conocen las causas de la destrucción de las presas No. 2 y No. 3 en Quebrada Seca, pero las obras se encuentran en ruinas.

6. Daños en las canalizaciones. Algunas de las canalizaciones han sufrido daños severos que requieren de atención inmediata, tales como:
   - Fractura de losas del talud de la canalización y colapso de traviesas en el tramo superior del rio San Julián.
   - Colapso de traviesas en el rio Camurí Grande.
   - Daños en los muros de gaviones en el tramo inferior del rio Cerro Grande, debido a erosión el pie y asentamientos por la ausencia de traviesas que no se construyeron.
   - Abrasión del fondo de concreto y exposición del acero de refuerzo en las canalizaciones de los ríos Guanape, Camurí Chico y Mamo.
   - Daños en las losas del fondo de la canalización del rio Naiguatá en las inmediaciones del puente en la Avenida Costanera.
   - Daños en los gaviones del rio San José de Galipán en la zona del puente en la Avenida Costanera y en el tramo aguas abajo.
   - Levantamiento de losas del fondo de la canalización de la quebrada El Tigrillo por filtraciones y tubificación.

- El problema con estas losas desprendidas, o a punto de desprenderse, es que con el paso de una crecida pudieran ser arrastradas aguas abajo y obstruir el cauce en los sitios de puente.

7. Fallas en los contradiques. La función del contradique es servirle de protección al dique principal de la presa. Muchos contradiques han fallado por problemas de erosión al pie de la estructura. Esto se debe a que no se construyeron las obras de protección requeridas, que consisten usualmente en un enrocado aguas abajo del contradique, tal como es el caso de las presas del rio Cerro Grande.
8. Sedimentación de las presas cerradas. El 67% de las presas cerradas están completamente sedimentadas, y el 33% restante presentan un grado de sedimentación que oscila entre un 50% y un 80%. Se puede decir entonces que las presas cerradas han cumplido su función de retener el material sedimentario, pero eso significa también que han perdido su capacidad de proteger a la población aguas abajo.
9. Sedimentación de las presas abiertas. Las presas abiertas han cumplido con su función de regular el transporte de sedimentos y filtrar el material de arrastre. El 96% de las presas abiertas, presentan un grado de sedimentación entre un 15% y un 70%. Una sola de las presas abiertas se encuentra colmatada totalmente de sedimentos.
10. Remoción de sedimentos en presas cerradas. Se conocen pocos esfuerzos que se hayan llevado a cabo para la remoción y extracción del material sedimentario acumulado en los vasos de las presas cerradas. Entre ellos, se menciona los casos de las presas cerradas de los ríos Cerro Grande y Camurí Grande, donde empresas areneras que operaban hace algunos años estuvieron extrayendo el material granular en las zonas cercanas a las presas. Igualmente, el caso del rio Naiguatá, donde una arenera opera y tiene sus instalaciones en el vaso de dicha presa.
11. Remoción de sedimentos en presas abiertas. Se conocen tres casos donde se han hecho trabajos de remoción del material sedimentario acumulado en las presas abiertas: En la segunda presa de Macuto (rio San José de Galipán), en la primera presa de la quebrada Las Pailas, y en la presa de Guanape. En algunos casos, basta con remover el material grueso (rocas, ramas, troncos y restos vegetales) que obstruye las ranuras, para que el mismo rio inicie un proceso de auto limpieza, en donde los flujos de crecientes normales (anuales) se concentran y son capaces de arrastrar el material fino que se acumula en las aberturas. Esto se ha observado en las presas abiertas de Guanape y El Cojo.
12. Erosión aguas debajo de las presas.
    La retención de los sedimentos en las presas durante las crecientes, ha originado en algunos casos procesos erosivos en los tramos inmediatamente aguas abajo, debido al efecto de flujos de aguas claras pasando sobre el vertedero, los cuales constituyen flujos hambrientos de sedimentos debido a la retención de su carga solida aguas arriba del dique. Como un ejemplo de estos procesos de degradación del lecho se mencionan los ocurridos en las presas de Camurí Chico, Presa No. 2 de Piedra Azul, y Presa No. 7 en quebrada Alcantarilla.
13. Impactos de la extracción de material granular en las cercanías de las obras.

- La estructura de disipación de energía de la Presa El Tigre, ha estado sujeta a un proceso de erosión general del lecho aguas abajo. Se estima que el descenso del lecho es cercano a 4,5 m al pie del muro o dentellón que sirve de fundación a la estructura de disipación. Este proceso de degradación del lecho, se atribuye a las actividades de extracción de material granular que realizaba una empresa arenera que operaba a unos 120 m aguas abajo. Por otro lado, el dique-toma de Hidrocapital que se encuentra en el rio Naiguatá, presenta también una enorme erosión aguas abajo cuyo descenso del lecho se estima entre unos 5 y 6 m al pie del dique, debido muy probablemente a las actividades extractivas que realiza la empresa arenera que opera en ese sector. La losa de protección que se construyó al pie del dique se encuentra a punto de

colapsar, con lo cual se pudiera poner en peligro la estabilidad de la estructura del dique-toma. Se recomienda regular los sitios de extracción de material granular, e impedir que estas actividades se realicen a menos de 500 m aguas debajo de las obras hidráulicas.

- Durante los últimos años se han otorgado permisos y se han creado empresas para la explotación con fines comerciales del material granular (grava y arena) en algunas de las quebradas del estado La Guaira. Este material ha sido utilizado para la construcción de la Misión Vivienda, ampliación del Puerto de La Guaira y para reparaciones de vialidad. Esta medida luce apropiada para extraer los sedimentos acumulados en las presas, siempre y cuando se tomen las medidas adecuadas para no acrecentar los problemas de fragilidad ambiental de las cuencas.

14. Medidas para contrarrestar los procesos erosivos aguas abajo.

    Es necesario tomar medidas urgentes para evitar el colapso de las obras sujetas a degradación general del lecho aguas abajo. En algunos casos, donde la profundidad de erosión al pie de presa sea en el orden de 2 m, pudiera ser suficiente un relleno del lecho con rocas de tamaño no menor a 1,5 m para formar un enrocado de protección de dos capas que se extienda por una cierta distancia aguas abajo.

    Otra posible solución es rellenar el tramo socavado utilizando los escombros de los edificios colapsados por el terremoto, tales como elementos de concreto (vigas, columnas, losas), combinados con rocas de gran tamaño. En los casos con profundidades mayores a 2 m, la solución más adecuada es construir un nuevo dique, muro o presa cerrada de concreto ciclópeo a una cierta distancia aguas abajo, a objeto de rehacer los niveles originales del terreno mediante el proceso de sedimentación regresiva que genera el dique.

15. Crecimiento de vegetación en las canalizaciones. Este es un fenómeno común que se observa sobre todo en las canalizaciones en fondo móvil, es decir en aquellas cuyo fondo es natural (no es de concreto). No solamente es crecimiento de maleza, sino también de arbustos y en algunos casos arboles de gran altura. El problema es que la vegetación reduce el área de la sección y aumenta la resistencia al flujo, induciendo a la sedimentación del material de arrastre, con lo cual se reduce aún más la capacidad de conducción de la canalización durante las crecientes. Por otra parte, la presencia de vegetación densa impide la inspección apropiada de las obras.

16. El Problema de los puentes. Los puentes ubicados en los tramos inferiores de las canalizaciones están sujetos a sedimentación debido a la reducción de la pendiente del cauce. Este es un fenómeno natural que seguirá ocurriendo por lo que debe procurarse un mantenimiento periódico para la remoción del material sedimentario acumulado en los lechos de los cauces. Adicionalmente, debe impedirse el transporte de grandes sólidos flotantes, en particular troncos y ramas de árboles que pueden contribuir a la obstrucción de los puentes. Para ello hay que construir aguas arriba obras de retención de sólidos flotantes, tales como presas abiertas del tipo de rastrillo. Esta presa debería ser la primera presa aguas arriba, antes de las presas de ventanas o ranuras. Igualmente, en los tramos superiores de las quebradas deben removerse de los cauces los árboles que hayan crecido en su interior, ya que estos pueden ser erosionados y arrastrados aguas abajo, contribuyendo a la obstrucción de los puentes. Por otro lado, para el diseño hidráulico de los puentes, las normas existentes estipulan determinar la creciente de diseño basándose solamente en el flujo de agua, no en aludes torrenciales. Las experiencias de Vargas sugieren que es necesario multiplicar el caudal líquido por un factor de corrección para tomar en cuenta el efecto de la presencia de grandes concentraciones de sedimentos en las crecientes de nuestros ríos de montaña, las cuales incrementan el volumen del flujo. El factor de corrección puede variar entre 1,6 y 3 dependiendo de las concentraciones del material sedimentario que puedan esperarse, incluyendo restos vegetales.

17. Botes de aguas servidas, basura y escombros en las canalizaciones. Este es un problema recurrente que se observa con frecuencia en las canalizaciones, sobre todo en las zonas ubicadas al oeste del Estado La Guaira, donde se asientan las viviendas informales (quebradas Osorio, Guanape y German en las parroquias de Maiquetía y La Guaira). En un caso particular se detectaron botes de basura mezclados con aguas servidas y presencia de roedores, con la consecuente insalubridad y olores nauseabundos. Tal es el caso de las quebradas Guiriguiri y El Brillante, en Maiquetía.

18. Necesidad del mantenimiento de las obras. La ausencia de un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado, ha llevado al colapso de algunas de las obras de mitigación de riesgos. Es necesario desarrollar e implementar programas de monitoreo periódico a las obras hidráulicas, a los fines de detectar a tiempo problemas de erosión, abrasión y sedimentación que puedan estar ocurriendo. Estas inspecciones deberían hacerse al menos una vez al año, o después de la ocurrencia de una crecida importante del rio. La remoción de la vegetación en las canalizaciones se considera de gran importancia a objeto de permitir identificar fallas, asentamientos, grietas o rompimientos en las mallas de gaviones, que se encuentran escondidos por la presencia de la maleza.

19. Necesidad de nuevas presas.

    Tomando en cuenta el colapso de algunas de las obras, y el grado de colmatación que presentan la mayoría de las presas, se hace necesario restablecer la capacidad de retención de las presas del Estado La Guaira, a fin de garantizar un cierto grado de protección a sus habitantes. Para las presas que están totalmente sedimentadas, se presentan dos opciones: remover y extraer los sedimentos acumulados en los vasos, o diseñar nuevas obras. Para seleccionar la mejor opción, sería necesario realizar un análisis de factibilidad técnica y económica, tomando en cuenta la cercanía a la zona urbana y la existencia de caminos o vías de acceso para el paso de las

maquinarias. El material granular a remover pudiera ser utilizado como agregado para la construcción.

20. Características de las nuevas presas

    En base a la experiencia acumulada después de la tragedia de Vargas, se recomienda que las nuevas presas que se diseñen deben ser presas abiertas de concreto ciclópeo del tipo ranurado, o presas tipo rastrillo, de elementos de concreto o tubulares de acero. En los casos en que se necesiten las dos presas, la presa ranurada deberá ubicarse aguas debajo de la presa de rastrillo y el ancho de las ranuras debe ser menor al espaciamiento de los elementos de la presa de rastrillo. Las presas deben estar provistas de sus respectivos contradiques o pozos de disipación, y estos a su vez deben tener también su obra de protección aguas abajo (enrocado o similar). Las dimensiones de las presas, su ubicación y el número de aberturas deberán ser objeto de un estudio específico para cada cuenca en consideración, dependiendo de la geología del sitio, de las características y tamaños del material de arrastre, así como de los volúmenes del caudal sólido a retener.

    Un ejemplo de este tipo de presas se muestra en la Figura 56 para la quebrada Las Pailas: Presa No. 3 (ranurada) y Presa No. 4 (rastrillo).

21. Recomendaciones específicas y nuevas obras para las cuencas más vulnerables.

    Se listan a continuación las recomendaciones de obras y acciones requeridas para cada una de las cuencas consideradas como las más vulnerables, entendiendo por esto como aquellas cuencas que han sido afectadas más fuertemente por los aludes torrenciales y cuyas obras hidráulicas han perdido una gran parte de su capacidad de protección.

    - Quebrada Las Pailas: Remover los sedimentos de la Presa No. 1, cuya ubicación es favorable para introducir maquinarias, por encontrarse muy cerca de la Avenida La Armada en Catia La Mar y en donde ya existe una vía de acceso.
    - Quebrada Curucutí: Diseñar una nueva presa abierta del tipo rastrillo.
    - Quebrada Piedra Azul: Diseñar una nueva presa abierta del tipo rastrillo.
    - Quebrada Osorio: Diseñar una nueva presa abierta del tipo ranurado.
    - Quebrada Guanape: Extraer los sedimentos de la presa abierta y diseñar una nueva presa abierta del tipo ranurado.
    - Río San José de Galipán: Extraer los sedimentos acumulados en la presa abierta de Macuto (Presa No. 2) y diseñar una nueva presa abierta del tipo ranurado. Reparar los gaviones dañados en el tramo inferior de la canalización.
    - Río El Cojo: Diseñar una nueva presa abierta del tipo ranurado.
    - Río Camurí Chico: Diseñar una nueva presa abierta del tipo ranurado. Reparar los daños en la canalización.
    - Río San Julián: Reducir el tamaño de las aberturas de 2 m de ancho en la Presa No. 1, utilizando mallas de anillos de acero tipo Geobrugg, a ser empotradas en las columnas de concreto. Reparar los daños en las losas de la canalización y restaurar las traviesas a punto de colapsar.
    - Quebrada La Chara (afluente del rio San Julián): Diseñar una presa abierta del tipo ranurado y canalizar la quebrada en su tramo inferior hasta la confluencia con el rio San Julián.
    - Quebrada Seca: Diseñar tres nuevas presas abiertas, dos del tipo ranurado y otra del tipo de rastrillo. Recuperar la canalización mediante labores de dragado de sedimentos, remoción de vegetación y reparación de mallas de gaviones.
    - Río Cerro Grande: Diseñar dos nuevas presas abiertas, una ranurada y otra de rastrillo. Construir las traviesas faltantes en la canalización y reparar los gaviones dañados.
    - Quebrada El Tigrillo: Remover los arrastres vegetales y sedimentos que obstruyen una de las ventanas, y restaurar la losa de la canalización al pie de la presa.
    - Río Naiguatá: Diseñar una presa abierta de rastrillo. Reparar las losas dañadas de la canalización.
    - Rio Camurí Grande: Diseñar dos nuevas presas abiertas, una ranurada y otra de rastrillo. Reparar las traviesas fracturadas.
    - Río Migueleno: Diseñar una nueva presa abierta del tipo rastrillo.
    - Río Anare: Diseñar dos nuevas presas abiertas, una ranurada y otra de rastrillo.

22. Numero de presas requeridas. De acuerdo con el aparte anterior, el número total de presas requeridas para restablecer la protección de las poblaciones más vulnerables en el Estado La Guaira contra aludes torrenciales es de 19 presas, de las cuales todas son abiertas de concreto, 8 del tipo de rastrillo y 11 del tipo ranurado.

23. Las presas necesitan un dueño.

    Las presas necesitan un dueño, un doliente institucional que sea responsable por su operación y mantenimiento con recursos garantizados por el estado. La inversión en materia de obras de mitigación de riesgos, no finaliza con la construcción de las obras. Los presupuestos para la construcción de las obras deben incluir partidas para el mantenimiento de las mismas por un tiempo determinado.

24. Tareas pendientes por desarrollar.

a) Una tarea pendiente es el desarrollo de una base de datos incorporada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se incluya toda la información recabada sobre las obras de mitigación de riesgos en el Estado La Guaira, permitiendo su visualización través de tableros de control (Dashboards) y mapas interactivos (StoryMaps). Esto permitirá mejorar la evaluación, gestión y monitoreo de las obras (presas y canalizaciones) con el fin de fortalecer la resiliencia institucional y la resiliencia comunitaria de la población.

b) Otra tarea pendiente por desarrollar es la elaboración de los nuevos mapas de amenaza por aludes torrenciales para las cuencas del Estado La Guaira. Estos mapas fueron desarrollados el año 2001 por investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos de la UCV, en el marco del proyecto Ávila que ejecutó el IGVSB. Sin embargo, ellos fueron elaborados para las condiciones existentes en las cuencas para ese momento, las cuales no incluían la presencia de las obras de mitigación de riesgos. Por lo tanto, se requiere actualizar los mapas tomando en cuenta las obras existentes (presas y canalizaciones) y su estado actual de funcionamiento. Para ello es necesario previamente efectuar un levantamiento LiDAR para producir mapas digitales actualizados del terreno y mapas de elevación en las cuencas del estado La Guaira.

5 REFERENCIAS

GEER, 2026, "June 24 2026 San Felipe and Catia La Mar Earthquakes, Venezuela", GEER Earthquake Reconnaissance Report.

Gómez, M., 2011, "Análisis geológico – geotécnico de un deslizamiento en la quebrada La Chara, afluente del río San Julián, Caraballeda, Estado Vargas", Informe Técnico.

López, José L., 2010, "Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas", Edición UCV-Fundación Polar, ISBN: 978-980-12-4490-5, 840 páginas.

López, José L., 2021, "Los Aludes Torrenciales de 1999 en Vargas: 20 años después", Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat, ANIH, ISBN: 978-980-18-1608-9, 706 páginas.

López, O., Sereno, A., 2009, "Evaluación de amenaza por aludes torrenciales mediante simulación matemática del flujo. Tramo Macuto – Tanaguarena, Estado Vargas, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, UCV.

Morassutti, G.F., 2010, "Obras de control de torrentes en el estado Vargas: El Plan Vargas 2005", En el libro: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 399-418.

Noguera, F., Flores, A., Marcano, G., 2016, "Medidas de mitigación en la cuenca de Quebrada Seca", Informe interno en el curso de Postgrado Evaluación y Control de Inundaciones y Aludes Torrenciales del Prof. Francois Courtel, Instituto de Mecánica de Fluidos, UCV.

Protección Civil Vargas, 2014, "Evaluación obras de control de mitigación de riesgo en las cuencas hidrográficas del Municipio Vargas", Alcaldía del Municipio Vargas, Nov. 2014.

6 ANEXOS

Tabla A1. Características y estado actual de las presas de control de sedimentos en el Estado La Guaira.

PRESA No.	RIO O QUEBRADA	PARROQUIA Y SECTOR	TIPO	MATERIAL	ALTURA (m)	ESTADO FÍSICO	SEDIMENTACIÓN (Grado y %)		COMENTARIOS
1	Tacagua-Afuente A	Catia La Mar Martin Vegas	Cerrada	Gaviones	8	Satisfactorio	Total	100	La estructura de disipación provista de tacos tiene 3 m de sedimentación.
2	Tacagua-Afuente B	Catia La Mar La Parcela	Abierta (Rastrillo)	Tubos de acero	4	Satisfactorio	Parcial	50	Tipo rastrillo. Tiene 6 tubos de 0,36 m (Ø 14") con 7 aberturas de 1,0 m.
3	Tacagua-Afuente C	Catia La Mar Los Hornitos	Abierta (Rastrillo)	Tubos de acero	2,2	Satisfactorio	Parcial	20	Presa tipo rastrillo. Tiene 6 tubos de 0,20 m (Ø 8") con 7 aberturas de 0,60 m.
4	Mamo	Catia La Mar El Tigre	Cerrada	Gaviones	6	Regular	Total	100	Fuerte erosión de 4 m al pie de contradique.
5	Mamo	Catia La Mar El Pozo	Cerrada	Gaviones	6	Desconocido	Total	100	Mucha vegetación. Imposible de inspeccionar.
6	Mamo	Catia La Mar El Piache	Cerrada	Gaviones	7	Satisfactorio	Parcial	70	Provista de disipador de energía en concreto armado, con tacos USBR
7	Las Pailas No.1	Urimare Urimare	Abierta (Ventana)	Concreto Ciclópeo	7	Satisfactorio	Parcial	50	Construida antes de 1999. Tiene 6 tubos de Ø 1,20 m provistos de rejas.
8	Las Pailas No.2	Urimare Urimare	Abierta (Ranurada)	Concreto Ciclópeo	3	Satisfactorio	Total	100	Tiene una ranura de 0,60 m de ancho. Fuerte socavación al pie del contradique.
9	Las Pailas No.3	Urimare Urimare	Abierta (Ranurada)	Concreto Ciclópeo	3	Satisfactorio	Parcial	30	Tiene tres ranuras de 0,90 m de ancho.
10	Las Pailas No.4	Urimare Urimare	Abierta (Rastrillo)	Tubos de acero	4	Satisfactorio	Parcial	10	Presa tipo rastrillo. Tiene 11 aberturas de 0,90 m de ancho.
11	Curucutí No.1	Carlos Soublette Montesano	Cerrada	Gaviones	5	Satisfactorio	Total	100	La colmatación ocurrió durante la vaguada de febrero del 2005.
12	Curucutí No.2	Carlos Soublette Montesano	Cerrada	Gaviones	7	Satisfactorio	Total	100	La colmatación ocurrió durante la vaguada de febrero del 2005.

PRESA No.	RIO O QUEBRADA	PARROQUIA Y SECTOR	TIPO	MATERIAL	ALTURA (m)	ESTADO FÍSICO	SEDIMENTACIÓN (Grado y %)		COMENTARIOS
13	Curucutí No.3	Carlos Soublette Montesano	Abierta (Ranurada)	Concreto Ciclópeo	5	Satisfactorio	Parcial	50	Tiene 5 ranuras de 1 m de ancho
14	Curucutí No.4	Carlos Soublette Montesano	Cerrada	Gaviones	5	Satisfactorio	Total	100	La colmatación ocurrió durante la vaguada de febrero del 2005.
15	Piedra Azul No.1	Maiquetía Piedra Azul	Cerrada	Gaviones	3	Regular	Total	100	Daños en las cestas de gaviones.
16	Piedra Azul No.2	Maiquetía Piedra Azul	Cerrada	Gaviones	5	Regular	Total	100	Fuerte erosión de 3 m al pie del contradique. Deterioro en las cestas de gaviones
17	Piedra Azul No.3	Maiquetía Piedra Azul	Abierta (Ranurada)	Gaviones	4	Regular	Parcial	40	8 aberturas de 1,80 m de ancho. Erosión de 2 m al pie del contradique. Abrasión en ranuras.
18	Dos Comadres No.1	Maiquetía Piedra Azul	Abierta (Ranurada)	Gaviones	6	Satisfactorio	Parcial	15	Aberturas de 1,5 m
19	Dos Comadres No.2	Maiquetía Piedra Azul	Abierta (Ranurada)	Gaviones	6	Satisfactorio	Parcial	25	Aberturas de 0,65 m
20	Osorio No.1	La Guaira La Guaira	Cerrada	Gaviones	2	No se pudo accesar	Total	100	Presa de control de erosión
21	Osorio No.2	La Guaira La Guaira	Cerrada	Gaviones	2	No se pudo accesar	Total	100	Presa de control de erosión
22	Osorio No.3	La Guaira La Guaira	Cerrada	Gaviones	2	No se pudo accesar	Total	100	Presa de control de erosión
23	Osorio No.4	La Guaira La Guaira	Cerrada	Gaviones	4	No se pudo accesar	Total	100	Presa de retención
24	Osorio No.5	La Guaira La Guaira	Abierta (Anillos)	Red de anillos de acero	6	No se pudo accesar	Se desconoce	Desconocido	El diámetro de los anillos es de 0,30 m
25	Osorio No.6	La Guaira La Guaira	Abierta (Anillos)	Red de anillos de acero	6	Deficiente	Parcial	25	Se sustrajo una sección amplia de la malla en estribo izquierdo. D = 0,30 m.
26	Osorio No.7	La Guaira La Guaira	Cerrada	Gaviones	3	Regular	Total	100	Presa de retención. Se han sustraído los alambres del gavión.
27	German No.1	La Guaira La Guaira	Abierta (Rastrillo)	Concreto	4.5	Satisfactorio	No tiene	0	3 ranuras de 1 m de ancho
28	German No.2	La Guaira La Guaira	Abierta (Rastrillo)	Concreto	4.5	Satisfactorio	No tiene	0	4 ranuras de 1 m de ancho

PRESA No.	RIO O QUEBRADA	PARROQUIA Y SECTOR	TIPO	MATERIAL	ALTURA (m)	ESTADO FÍSICO	SEDIMENTACIÓN (Grado y %)		COMENTARIOS
29	Cariaco No.1	La Guaira La Guaira	Abierta (Rastrillo)	Concreto	4.5	Satisfactorio	No tiene	0	9 ranuras de ancho 0,75 m Daños en concreto. Cabillas expuestas.
30	Cariaco No.2	La Guaira La Guaira	Abierta (Rastrillo)	Concreto	4.5	Satisfactorio	No tiene	0	8 aberturas de ancho 0,75 m
31	Guanape	La Guaira La Guaira	Abierta (Rastrillo)	Concreto	4.5	Satisfactorio	Parcial	30	10 aberturas de ancho 1 m
32	Alcantarilla No.1	Macuto Alcantarilla	Cerrada	Gaviones	2	Satisfactorio	No tiene	0	Presa de control de erosión
33	Alcantarilla No.2	Macuto Alcantarilla	Cerrada	Gaviones	2	Satisfactorio	No tiene	0	Presa de control de erosión
34	Alcantarilla No.3	Macuto Alcantarilla	Cerrada	Gaviones	2	Satisfactorio	No tiene	0	Presa de control de erosión
35	Alcantarilla No.4	Macuto Alcantarilla	Cerrada	Gaviones	2	Satisfactorio	No tiene	0	Presa de control de erosión
36	Alcantarilla No.5	Macuto Alcantarilla	Cerrada	Gaviones	6	Satisfactorio	Parcial	70	Presa de retención
37	Alcantarilla No.6	Macuto Alcantarilla	Cerrada	Gaviones	5	No se pudo accesar	Total	100	Presa de retención.
38	Alcantarilla No.7	Macuto Alcantarilla	Cerrada	Gaviones	5	No se pudo accesar	Total	100	Presa de retención
39	San José de Galipán No.1	Macuto Macuto	Cerrada	Gaviones	7	Regular	Total	100	Daños en gaviones. Abrasión en losas. Sustracción de mallas.
40	San José de Galipán No.2	Macuto Macuto	Abierta (Reticulada)	Concreto armado	6	Satisfactorio	Parcial	25	Presa de tipo reticular. Se ha hecho mantenimiento (remoción de sedimentos)
41	El Ere	Macuto Macuto	Cerrada	Gaviones	6	Satisfactorio	Total	100	Afluente del rio San Jose de Galipán
42	El Cojo No.1	Macuto Macuto	Cerrada	Gaviones	3	Deficiente	Total	100	Colapso de una fila de gaviones y erosión de 2 m en el lecho del contradique
43	El Cojo No.2	Macuto Macuto	Abierta (Ranurada)	Gaviones	3	Satisfactorio	Parcial	70	Presa del tipo de ranuras
44	Camurí Chico	Caraballeda Caraballeda	Abierta (Ventanas)	Gaviones	6	Deficiente	Parcial	70	Presa del tipo de ventanas. Erosión de 3,5 m al pie de la presa debido a que no se completó la obra de control diseñada por proyectista.

PRESA No.	RIO O QUEBRADA	PARROQUIA Y SECTOR	TIPO	MATERIAL	ALTURA (m)	ESTADO FÍSICO	SEDIMENTACIÓN (Grado y %)		COMENTARIOS
45	San Julián No.1	Caraballeda Caraballeda	Abierta (Rastrillo)	Concreto	7	Satisfactorio	Parcial	25	Tipo ranurada. Separación dientes = 2 m.
46	San Julián No.2	Caraballeda Caraballeda	Abierta (Rastrillo)	Concreto	11	Satisfactorio	Parcial	20	Tipo ranurada. Separación dientes = 3 m.
47	San Julián No.3	Caraballeda Caraballeda	Abierta (Rastrillo)	Concreto	11	Satisfactorio	Parcial	15	Tipo ranurada. Separación dientes = 3 m.
48	Quebrada Seca No.1	Caraballeda Caraballeda	Cerrada	Gaviones	3	Satisfactorio	Total	100	Han cortado y sustraído alambres del gavión
49	Quebrada Seca No.2	Caraballeda Caraballeda	Cerrada	Gaviones	4	En ruinas	Total	100	Cubierta por maleza
50	Quebrada Seca No.3	Caraballeda Caraballeda	Cerrada	Gaviones	4	No se pudo ubicar	Total	100	No se pudo ubicar en campo. Un informe del 2009 indicaba colmatación total y daños en gaviones.
51	Quebrada Seca No.4	Caraballeda Caraballeda	Cerrada	Gaviones	8	En ruinas	Ninguno	Ninguno	En 2007 se inicia proceso de tubificacion en estribo izq. Se encontraron restos de gaviones y barbacanas de 0,90 m (Ø36")
52	Cerro Grande No.1	Caraballeda Cerro Grande	Cerrada	Gaviones	3	Satisfactorio	Casi total	80	La cantera ya no opera en este sector. Colapso parcial del contradique (erosión al pie)
53	Cerro Grande No.2	Caraballeda Cerro Grande	Cerrada	Gaviones	6	Satisfactorio	Total	100	Colapso parcial del contradique (erosión al pie)
54	El Tigrillo	Naiguatá El Tigrillo	Abierta (Ventanas)	Concreto	4	Deficiente	Parcial	50	Presa con 2 ventanas. Obstrucción total en una ventana y perdida de losa de fondo de canalización al pie de la presa.
55	Naiguatá	Naiguatá Naiguatá	Abierta (Ranurada)	Concreto	5	Satisfactorio	Parcial	30	Presa ranurada con 8 aberturas de 1 m. La empresa arenera tiene sus maquinarias en el vaso de la presa.
56	Camurí Grande No.1	Naiguatá Camurí Grande	Cerrada	Gaviones	5	Satisfactorio	Parcial	50	Estructuralmente en buenas condiciones. Erosión al pie del dique.

PRESA No.	RIO O QUEBRADA	PARROQUIA Y SECTOR	TIPO	MATERIAL	ALTURA (m)	ESTADO FÍSICO	SEDIMENTACIÓN (Grado y %)		COMENTARIOS
57	Camurí Grande No.2	Naiguatá Camurí Grande	Cerrada	Gaviones	5	Satisfactorio	Total	100	Siembras de cambur y plátano en el vaso colmatado de sedimentos.
58	Camurí Grande No.3	Naiguatá Camurí Grande	Abierta (Ventanas)	Gaviones	4	Destruida	Ninguno	Ninguno	Para mayo 2011 dos filas de gaviones en estribo derecho colapsaron por caída de bloques de ladera. Hoy solo queda 1/3 del cuerpo de la presa.
59	Migueleno No.1	Naiguatá Camurí Grande	Cerrada	Gaviones	5	Satisfactorio	Parcial	50	Excesiva vegetación impide inspección adecuada.
60	Migueleno No.2	Naiguatá Camurí Grande	Cerrada	Gaviones	5	Satisfactorio	Total	100	Erosión al pie del dique aguas abajo.
61	Migueleno No.3	Naiguatá Camurí Grande	Abierta (Ventanas)	Gaviones	4	Satisfactorio	Parcial	50	Tiene ventanas de 1 m x 1 m. Erosión al pie del dique aguas abajo.
62	Anare No.1	Naiguatá Anare	Cerrada	Gaviones	3	Destruida	Ninguno	Ninguno	Se identificaron los restos de la presa, destruida por las lluvias torrenciales del 2005.
63	Anare No.2	Naiguatá Anare	Cerrada	Gaviones	3	Destruida	Ninguno	Ninguno	Se identificaron los restos de la presa, destruida por las lluvias torrenciales del 2005.
64	Care	Naiguatá Care	Abierta (Ranurada)	Concreto ciclópeo	4	Satisfactorio	Parcial	50	Presa con 5 ranuras de 0,60 m.

Tabla A2. Coordenadas de las presas de control de sedimentos en el Estado La Guaira (Tabla elaborada por Karen Pereira).

Fecha Inspección	Ubicación	Río o Quebrada	Descripción	Latitud	Longitud
21/07/2026	Macuto	San José de Galipán	Presa 1	10.6004376	-66.8981525
21/07/2026	Macuto	San José de Galipán	Dique Toma	10.5965122	-66.8989770
21/07/2026	Macuto	San José de Galipán	Presa 2	10.5947807	-66.8980305
21/07/2026	Caraballeda	San Julián	Presa 1	10.5992486	-66.8510570
21/07/2026	Caraballeda	San Julián	Presa 2	10.5940043	-66.8493038
26/08/2026	Caraballeda	San Julián	Presa 3	10.5912851	-66.8485256
23/07/2026	Naiguata	Naiguatá	Presa 1	10.6074460	-66.7391550
23/07/2026	Naiguata	Naiguatá	Dique Toma	10.6022472	-66.7430377
28/07/2026	Camurí Chico	Camurí Chico	Presa 1	10.6035840	-66.8679840
28/07/2026	Caraballeda	Quebrada Seca	Presa 1	10.6099846	-66.8349858
28/07/2026	Caraballeda	Quebrada Seca	Presa 2		
28/07/2026	Caraballeda	Quebrada Seca	Presa 3	10.6048849	-66.8355471
28/07/2026	Caraballeda	Quebrada Seca	Presa 4	10.6031066	-66.8346030
30/07/2026	Tanaguarena	Cerro Grande	Presa 1	10.6031640	-66.8223748
30/07/2026	Tanaguarena	Cerro Grande	Presa 2	10.5994252	-66.8185898
30/07/2026	Tanaguarena	El Tigrillo	Presa 1	10.6153980	-66.7659106
03/08/2026	Camurí Grande	Camurí Grande	Presa 1	10.6116864	-66.7193535
03/08/2026	Camurí Grande	Camurí Grande	Presa 2	10.6095770	-66.7190640
03/08/2026	Camurí Grande	Camurí Grande	Presa 3	10.6063524	-66.7191416
03/08/2026	Camurí Grande	Migueleno	Presa 1	10.6132940	-66.7182790
03/08/2026	Camurí Grande	Migueleno	Presa 2	10.6115981	-66.7163206
03/08/2026	Camurí Grande	Migueleno	Presa 3	10.6087597	-66.7151072
05/08/2026	Macuto	El Cojo	Presa 1	10.6003288	-66.8827996
05/08/2026	Macuto	El Cojo	Presa 2	10.5998408	-66.8824405
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Dique 1	10.5998938	-66.9035283
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Dique 2	10.5997400	-66.9034620
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Dique 3	10.5995830	-66.9034400

Fecha Inspección	Ubicación	Río o Quebrada	Descripción	Latitud	Longitud
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Dique 4	10.5994720	-66.9035000
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Contradique 1	10.5993080	-66.9035760
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Presa 1	10.5992318	-66.9034056
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Contradique 2	10.5988390	-66.9041980
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Presa 2	10.5988510	-66.9043450
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Contradique 3	10.5988490	-66.9050930
05/08/2026	Macuto	Alcantarilla	Presa 3	10.5987440	-66.9052350
07/08/2026	La Guaira	Guanape	Presa 1	10.5976278	-66.9156972
07/08/2026	La Guaira	Cariaco	Presa 1	10.5950547	-66.9211508
07/08/2026	La Guaira	Cariaco	Presa 2	10.5933876	-66.9208385
07/08/2026	La Guaira	Germán	Presa 1	10.5964997	-66.9271106
07/08/2026	La Guaira	Germán	Presa 2	10.5959784	-66.9268167
10/08/2026	La Guaira	Osorio	Diques Control Erosión	10.5956191	-66.9314857
10/08/2026	La Guaira	Osorio	Presa 1 Anillos	10.5954095	-66.9316067
10/08/2026	La Guaira	Osorio	Presa 2 Anillos	10.5943727	-66.9311132
10/08/2026	La Guaira	Osorio	Presa 3 Gaviones	10.5942538	-66.9312248
10/08/2026	Maiquetía	Piedra Azul	Presa 1	10.5857853	-66.9547347
10/08/2026	Maiquetía	Piedra Azul	Presa 2	10.5841048	-66.9554261
10/08/2026	Maiquetía	Piedra Azul	Presa 3	10.5794004	-66.9554261
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Presa 1	10.5821950	66.9806045
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Contradique 1	10.5822500	-66.9806660
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Presa 2	10.5812514	66.9796193
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Contradique 2	10.5813611	-66.9798889
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Presa 3	10.5790847	66.9776785
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Contradique 3	10.5813611	66.9777500
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Presa 4		
12/08/2026	Maiquetía	Curucuti	Contradique 4	10.5760556	66.9755000
14/08/2026	Maiquetía	Las Pailas	Presa 1	10.5930196	-66.9959486

Fecha Inspección	Ubicación	Río o Quebrada	Descripción	Latitud	Longitud
14/08/2026	Maiquetía	Las Pailas	Presa 2	10.5891745	-66.9963609
14/08/2026	Maiquetía	Las Pailas	Presa 3	10.5868115	-66.9971643
14/08/2026	Maiquetía	Las Pailas	Presa 4	10.5846044	-66.9972984
17/08/2026	Catia La Mar	La Zorra		10.5814350	-67.0344330
19/08/2026	Catia La Mar	El Tigre	Presa 1	10.5574139	-67.0602086
19/08/2026	Catia La Mar	El Pozo	Presa 1	10.5590556	-67.0648535
19/08/2026	Catia La Mar	El Piache	Presa 1	10.5760625	-67.0458692
21/08/2026	Maiquetía	Dos Comadres	Contradique 1	10.5871667	-66.9493889
21/08/2026	Maiquetía	Dos Comadres	Presa 1	10.5864306	-66.9493111
21/08/2026	Maiquetía	Dos Comadres	Contradique 2	10.5862778	-66.9495278
21/08/2026	Maiquetía	Dos Comadres	Presa 2	10.5871472	-66.9494500
21/08/2026	Maiquetía	Mapurite	Presa 1	10.5965917	-66.9400611
21/08/2026	Maiquetía	El Garín	Presa 1	10.5959722	-66.9484139
21/08/2026	Maiquetía	Quiri-Quiri	Presa 1	10.5962083	-66.9466000
24/08/2026	Catia La Mar	Los Hornitos (Tacagua)	Presa 1	10.5803974	-67.0195517
24/08/2026	Catia La Mar	Las Parcelas (Tacagua)	Presa 1	10.5758499	-67.0150590
24/08/2026	Catia La Mar	Martín Vega (Tacagua)	Presa 1	10.5828178	-67.0148715
26/08/2026	Macuto	El Ere	Presa 1	10.6012830	-66.8990540
28/08/2026	Anare	Anare	Presa 1	10.6170951	-66.6482451
28/08/2026	Anare	Anare	Presa 2	10.6159562	-66.6457446
28/08/2026	Care	Care	Presa 1	10.6150134	-66.6904661

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 398 – 423
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/185

VARGAS, LA GUAIRA: DE LOS DESLAVES A LOS TERREMOTOS

Carlos GENATIOS[1]

"Cómo hacer para despertar de esta pesadilla"

"El paso de Vargas a La Guaira ha sido un desastre"

RESUMEN

Este artículo analiza dos desastres que han marcado el territorio de Vargas, hoy La Guaira: el evento hidrometeorológico de diciembre de 1999 y los terremotos del 24 de junio de 2026. Ambos revelan una fragilidad común: la ocupación de un territorio expuesto a amenazas naturales severas sin continuidad institucional suficiente en planificación, reducción de riesgos y mantenimiento de infraestructuras. Se revisa el desastre de 1999, originado por lluvias extremas sobre cuencas capaces de generar flujos torrenciales y transportar grandes volúmenes de sedimentos, así como la respuesta de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV), que formuló una estrategia integral de ordenamiento territorial, protección hidráulica, recuperación urbana y desarrollo económico. Se examina luego el impacto de los terremotos de 2026 y, en particular, el desempeño de edificaciones modernas de la Gran Misión Vivienda Venezuela, la OPPPE y el Urbanismo Hugo Chávez. Se plantea la necesidad de investigaciones forenses independientes que incluyan suelos, fundaciones, materiales, cálculos estructurales, ejecución, inspección y mantenimiento, tanto para comprender los mecanismos de falla como para establecer responsabilidades y extraer lecciones técnicas. Finalmente, se advierte que La Guaira continúa expuesta a lluvias intensas y flujos torrenciales, mientras numerosas obras de control de sedimentos se encuentran colmatadas o deterioradas. La recuperación y el desarrollo de la región deben recuperar la planificación territorial, actualizar la microzonificación sísmica y la protección hidráulica, y convertir la tragedia en conocimiento útil para reducir futuras pérdidas humanas.

ABSTRACT

Vargas, La Guaira: From Landslides to Earthquakes

This article examines two disasters that have marked the territory of Vargas, now La Guaira: the hydrometeorological event of December 1999 and the earthquakes of June 24, 2026. Both reveal a common vulnerability: the occupation of a territory exposed to severe natural hazards without sufficient institutional continuity in planning, risk reduction, and infrastructure maintenance. The article reviews the 1999 disaster, caused by extreme rainfall over watersheds capable of generating torrential flows and transporting large volumes of sediment, as well as the response of the Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV), which developed an integrated strategy for land-use planning, hydraulic protection, urban recovery, and economic development. It then examines the impact of the 2026 earthquakes, particularly the performance of modern buildings associated with the Gran Misión Vivienda Venezuela, the OPPPE, and the Urbanismo Hugo Chávez. The article argues for independent forensic investigations covering soils, foundations, materials, structural calculations, construction, inspection, and maintenance, both to understand failure mechanisms and to establish responsibilities and derive technical lessons. Finally, it warns that La Guaira remains exposed to intense rainfall and torrential flows while many sediment-control works are silted up or deteriorated. Recovery and development of the region should restore territorial planning, update seismic microzonation and hydraulic protection, and transform the tragedy into useful knowledge to reduce future loss of life.

Palabras clave: La Guaira; Vargas; riesgo de desastres; terremotos; flujos torrenciales; recuperación y desarrollo, planificación territorial.
Keywords: La Guaira; Vargas; disaster risk; earthquakes; torrential flows; recovery and development; territorial planning.

Introducción

El artículo examina tanto el desastre hidrometeorológico de diciembre de 1999, como los terremotos del 24 de junio de 2026 para identificar continuidades en la vulnerabilidad territorial e institucional de La Guaira. Su objetivo es relacionar las lecciones de la reconstrucción posterior a 1999 con las

[1] Ph.D. Individuo de Número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH), Sillón XXX. Profesor Titular (J), Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela; Director of Engineering, Technology & Design, Miami Dade College, EE. UU. Correo-e.: carlosgenatios@gmail.com

decisiones técnicas necesarias para una recuperación que reduzca el riesgo futuro.

1. Vargas: el territorio de Vargas y el desastre de diciembre de 1999

En el estado Vargas la mayor parte de sus habitantes se concentra en una franja costera muy estrecha, generalmente menor de dos kilómetros, situada entre la Cordillera de la Costa y el mar Caribe. La mayor parte de sus zonas planas donde se desarrollaron las principales poblaciones, vías e infraestructuras no son superficies geológicamente estables e independientes de las montañas, sino plataformas formadas durante largos períodos por la deposición de sedimentos provenientes de ríos, quebradas y antiguos deslaves. Por ello, los procesos ocurridos en 1999 no constituyen una anomalía irrepetible. El propio origen geológico de esas planicies demuestra que fenómenos semejantes han ocurrido antes y volverán a ocurrir, de modo que la ocupación urbana debe concebirse siempre en relación con esa amenaza (URBANI et al. 2000). Véase la Figura 1.



Figura 1. Territorio del estado Vargas.

El desastre de diciembre de 1999 se explica como la consecuencia de un proceso progresivo. Las lluvias continuas saturaron los suelos de las partes altas de las cuencas, redujeron la capacidad de sujeción de la capa vegetal y provocaron erosión, derrumbes y desprendimientos. Los materiales desprendidos fueron incorporándose a los cursos de agua, primero como sedimentos pequeños y luego como bloques de mayor tamaño. Al aumentar la proporción de sólidos, el flujo adquirió densidades muy elevadas, superiores en ciertos casos a 2 toneladas por metro cúbico, transformándose en flujos torrenciales o debris flows capaces de transportar y hacer flotar grandes rocas. En varias cuencas se desplazaron bloques de más de 10 o 20 toneladas, y existen indicios de rocas aún mayores. La combinación de agua, barro, troncos, sedimentos y rocas convirtió las quebradas en corrientes de enorme capacidad destructiva (SALCEDO 2000, JACOB y HUNGR 2005).

Los desprendimientos más severos se produjeron durante la noche del 15 y la madrugada del 16 de diciembre. Los sedimentos se depositaron en los cauces y en los conos de deyección, alcanzando en algunos lugares espesores superiores a ocho metros. La línea de costa se modificó de manera visible, surgieron nuevas superficies ganadas al mar y se alteraron antiguos cauces. Se estima que se depositaron más de 20 millones de metros cúbicos de sedimentos (equivalente a unas 6.000 piscinas olímpicas). En conjunto, el evento evidenció que las mismas superficies atractivas para el desarrollo urbano son precisamente las áreas donde se acumula históricamente el material transportado por las cuencas. El problema central, por tanto, no es impedir que la naturaleza produzca lluvias o flujos torrenciales, sino reducir la exposición y la vulnerabilidad de la población mediante planificación, obras de control y una adecuada cultura de prevención (GENATIOS, Lafuente, 2020; GRASES et al. 2000).

Vargas posee numerosos antecedentes de lluvias destructivas. Se citan eventos en La Guaira desde los siglos XVIII y XIX, además de episodios importantes en 1912, 1914, 1938, 1944, 1948 y 1951. Un evento similar ocurrió en El Limón, en Maracay, en 1987, provocado por lluvias intensas y desprendimientos en la Cordillera de la Costa. Posteriores al desastre de Vargas, pueden mencionarse varios eventos destructores, aunque de menor magnitud: el desastre del valle de Mocotíes (febrero de 2005 y agosto de 2021), y el de Tejerías (octubre de 2022), entre otros. Estas referencias históricas muestran que la amenaza es recurrente, aunque los episodios extremos tengan baja frecuencia. La memoria histórica, la investigación geológica y el registro instrumental deben utilizarse para orientar el uso del territorio y debe evitarse una falsa sensación de seguridad durante los períodos sin grandes catástrofes (LÓPEZ y PÉREZ-HERNÁNDEZ 2010a). Véase la Figura 2.

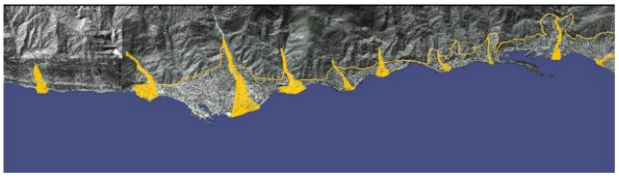


Figura 2. Cuencas afectadas en Vargas en diciembre de 1999.

1.1. Magnitud del evento, incertidumbre y criterios de diseño

Sobre las lluvias de diciembre 1999. El promedio anual de precipitación en la estación de Maiquetía durante las décadas anteriores era de aproximadamente 510 mm, mientras que en las zonas altas de la cordillera se estimaban valores cercanos a 1.000 mm. En diciembre de 1999 se registraron en Maiquetía aproximadamente 1.210 mm en quince días de lluvia y 911 mm durante los tres días finales más intensos, además de 72 mm en la hora más crítica. El suelo ya se encontraba húmedo por las precipitaciones de octubre y noviembre, por lo que la lluvia extrema de mediados de diciembre actuó sobre un terreno previamente saturado. Los riachuelos se convirtieron en ríos de gran caudal y pendientes pronunciadas, generando erosión, pérdida de vegetación, deslizamientos y flujos hiperconcentrados (GENATIOS, 2000; HIDALGO 2000, LÓPEZ y PÉREZ-HERNÁNDEZ 2010a). Entre los estudios técnicos de cuenca vinculados al desastre se encuentra el de la cuenca experimental de San José de Galipán (FLORES et al. 2010). Véase la Figura 3.

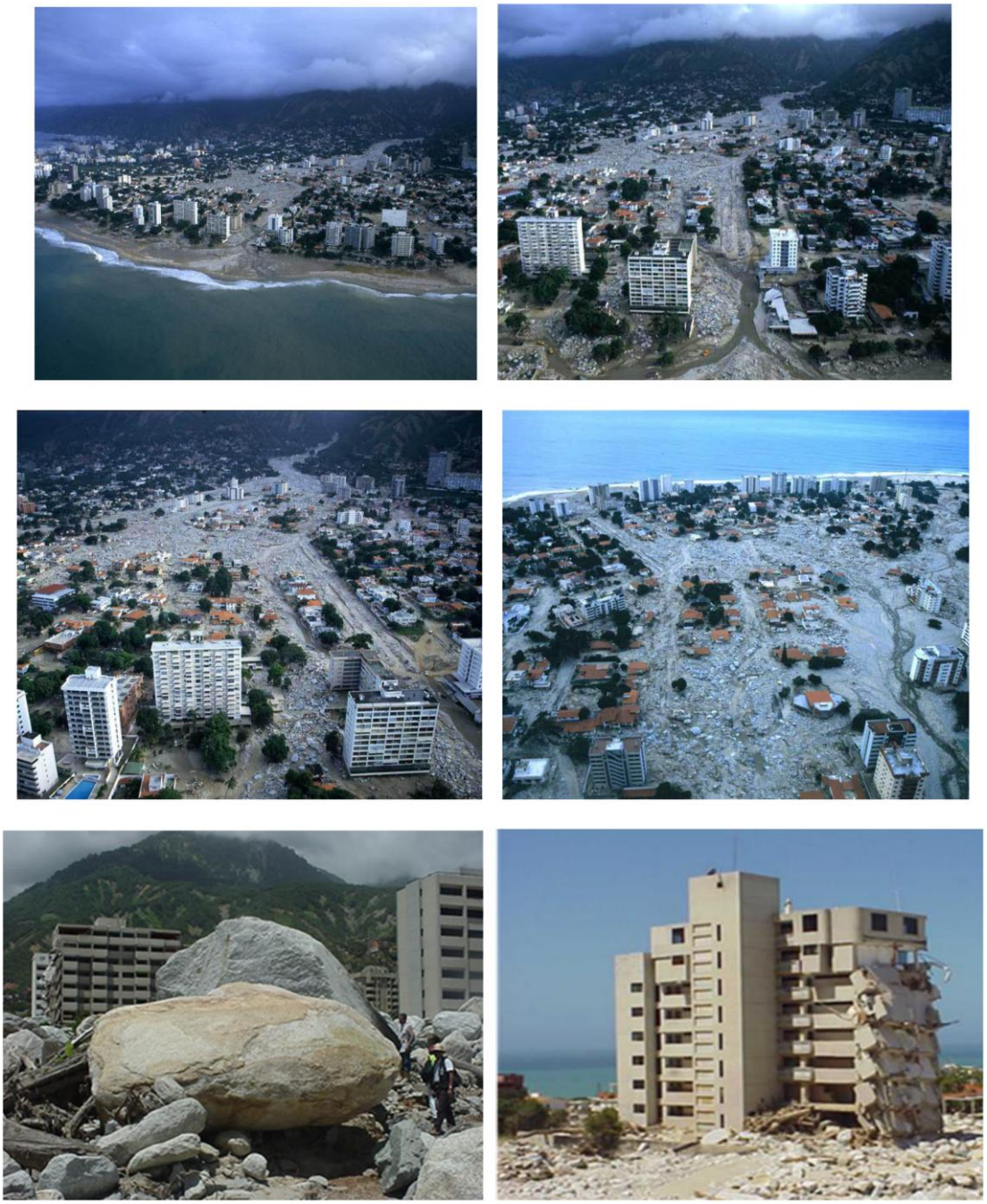


Figura 3. Impacto de las lluvias y deslaves en Vargas. Fuente: U.S. Geological Survey (USGS).

La red pluviométrica estaba casi totalmente desmantelada. En el momento de la tragedia sólo funcionaban pocas estaciones y no existía una red operativa suficiente en las partes altas de las cuencas, donde probablemente las precipitaciones fueron considerablemente mayores. Algunos estudios proponen aplicar factores de corrección a los datos de Maiquetía, mientras otros estiman precipitaciones máximas probables mucho más altas que las realmente registradas. En relación con las estimaciones de los períodos de retorno del evento, hay distintas opiniones; diversos especialistas lo ubicaron alrededor de 500 años, otros alrededor de 1.000 años y se menciona incluso una estimación de 5.000 años basada en evidencias geológicas (LÓPEZ y PÉREZ-HERNÁNDEZ 2010a, SINGER et al. 2010).

Uno de los esfuerzos realizados en el proceso de planificación para la recuperación fue el de orientar el diseño de las obras de control con un nivel de seguridad comparable al usado en la ingeniería sísmica. En estructuras ordinarias, la práctica sismorresistente considera un evento con período de retorno cercano a 475 años, equivalente a una probabilidad de excedencia del 10 % durante cincuenta años. Aunque la práctica hidráulica convencional suele trabajar con crecidas de 100 años, la AUAEV defendió para Vargas el uso de la crecida

de 500 años, tomando en cuenta la magnitud de las lluvias de 1999 y las incertidumbres de los registros (AUAEV 2001, GENATIOS y LAFUENTE 2020).

Existe evidencia de eventos prehistóricos y geológicos posiblemente mayores que el de 1999. Esto amplía la discusión desde Vargas hacia otras zonas venezolanas, especialmente los sectores urbanos al pie del Ávila en Caracas, desarrollados también sobre conos de deyección. La lección general es que la ingeniería debe reconocer el riesgo aun cuando la frecuencia de ocurrencia sea baja. La ausencia de eventos recientes no elimina la amenaza, ni representa un argumento para reducir las medidas de seguridad (SINGER et al. 2010).

1.2. Consecuencias humanas, urbanas y económicas

Las consecuencias inmediatas fueron de una escala extraordinaria. Aproximadamente 240.000 personas resultaron afectadas y unas 100.000 fueron evacuadas, dentro de una población estatal de alrededor de 350.000 habitantes. Se destruyeron unas 8.000 viviendas, equivalentes aproximadamente al 10 % del parque habitacional. Cinco hospitales y ambulatorios sufrieron daños, colapsaron sistemas de aguas blancas y servidas y se destruyó cerca del 85 % de la vialidad troncal. También resultaron afectados el puerto de La Guaira, el aeropuerto, instalaciones educativas y las actividades turísticas y recreativas que constituían una fuente fundamental de empleo (AUAEV, 2001; GENATIOS y LAFUENTE 2020; GRASES et al. 2000).

El puerto sufrió sedimentación, daños en áreas de almacenamiento y problemas derivados de materiales y productos químicos que quedaron fuera de control. El aeropuerto fue destinado a la atención de la emergencia, alterando su operación normal. La interrupción de estas infraestructuras tuvo consecuencias más allá del propio estado, porque el puerto y el aeropuerto cumplen funciones estratégicas para Caracas y para el país. En ese momento, una comisión del PNUD estimó los daños materiales inmediatos del orden de 5.000 millones de dólares, los cuales equivalen, a la fecha de hoy (año 2026) a unos 10.000 millones de dólares (GRASES et al. 2000). En cuanto a las víctimas, el número de personas fallecidas nunca pudo ser determinado; un estudio presentó un número de unas 1000 víctimas, mediante registros forenses, pero ese estudio no incluye a las personas desaparecidas; en general se acepta que el número de personas fallecidas pudo ser de alrededor de 5.000.

Más allá de las cifras, el desastre no fue solamente el producto de un fenómeno natural. La lluvia extrema fue el detonante, pero la magnitud de la destrucción dependió de la ocupación inadecuada de cauces y conos de deyección, de la vulnerabilidad social, de la falta de planificación, de la debilidad institucional y del insuficiente conocimiento del riesgo. Por eso, reconstruir no podía significar simplemente reponer viviendas, vías y servicios en los mismos lugares y con los mismos patrones previos. La tragedia debía convertirse en una oportunidad para modificar la relación entre territorio, ciudad, infraestructura y seguridad. Véanse las Figuras 4 y 5.



Figura 4. Carmen de Uria: cono aluvial.



Figura 5. Daños en Carmen de Uria.

1.3. Creación de la AUAEV y concepto de recuperación y desarrollo

Tras la emergencia inmediata, el 5 de enero de 2000 se creó la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas, AUAEV, con fundamento en la legislación de ordenación del territorio. Su función principal era planificar la reconstrucción y el desarrollo urbano y la protección ambiental para la reducción de riesgos de desastres. La AUAEV no fue concebida como organismo ejecutor de obras, por lo que sus recursos estaban destinados a estudios, planificación y proyectos. Las labores de emergencia y ejecución inicial correspondían a ministerios, bajo la dirección del Ministerio de Desarrollo Social, y otros organismos nacionales (AUAEV 2001; GENATIOS 2000).

La AUAEV reunió comisiones técnicas con cerca de 200 profesionales. Se desarrollaron estudios climatológicos, hidrológicos y geológicos; análisis de cuencas y cambios geográficos; evaluación de la amenaza sísmica; estudios

económicos y sociales; proyectos de vialidad y desarrollo urbano; recuperación del casco histórico de La Guaira; integración del puerto; desarrollo del aeropuerto; proyectos de control de torrentes; estudios costeros y oceanográficos; y mecanismos para promover el desarrollo inmobiliario. Se realizaron numerosas reuniones con las comunidades afectadas. El esfuerzo de 2000 representó unas 220.000 horas de ingeniería. La reconstrucción se concebía como una acción multidisciplinaria, en la que la reducción del riesgo era inseparable del desarrollo económico, la calidad urbana y la protección ambiental (GENATIOS 2000, GENATIOS y LAFUENTE 2020).

La propuesta buscaba un litoral seguro, ambientalmente atractivo y capaz de recuperar su función residencial, comercial, turística y recreativa. La infraestructura de aguas blancas y servidas, el puerto, el aeropuerto, las vías, los espacios públicos y las obras hidráulicas debían funcionar como partes de un mismo sistema. Esta visión se oponía a una reconstrucción basada en intervenciones aisladas. El desastre abrió una oportunidad excepcional para corregir problemas históricos del litoral, recuperar espacios, ordenar la ocupación del territorio y elevar la calidad de vida de sus habitantes.

1.4. Planificación urbana, desarrollo económico y ordenamiento territorial

La planificación urbana se apoyó en instituciones académicas venezolanas, principalmente la Universidad Central de Venezuela, la Universidad Simón Bolívar y la Universidad Metropolitana, esta última con apoyo del departamento de diseño de la Universidad de Harvard. Nunca antes se había desarrollado en Venezuela un proyecto urbano de semejante escala e integración frente a un desastre y una emergencia que habían desplazado a una alta proporción de la población. La participación universitaria tenía una doble finalidad: garantizar la calidad técnica e independencia respecto de intereses económicos particulares, y difundir el conocimiento generado entre profesionales, estudiantes y comunidades. La reconstrucción debía combinar urbanismo, ingeniería, ambiente, economía, aspectos jurídicos y participación social (MARCANO 2000, GRAUER 2001; GONZÁLEZ L. et al. 2001).

Los criterios generales incluían minimizar el riesgo mediante estructuras de control de torrentes, canalizaciones y planes de emergencia; recuperar las vocaciones económicas tradicionales; reforzar el papel del puerto y el aeropuerto; recuperar el turismo e impulsar el turismo hacia El Caribe, las playas, clubes, hoteles y residencias vacacionales; proteger y revitalizar el casco histórico; crear una red vial estructurante; incorporar sistemas de transporte público; modernizar acueductos y cloacas; definir zonas inhabitables; promover vivienda y desarrollo inmobiliario bajo reglas claras; y proteger con espigones y escolleras los terrenos ganados al mar. El objetivo era aprovechar la nueva geografía creada por el desastre sin repetir la ocupación vulnerable del pasado.

La AUAEV dividió el estado en once unidades de ordenamiento territorial, cada una con funciones y proyectos específicos. Carayaca se vinculaba con actividades agrícolas, ambientales y recreacionales de baja densidad. Catia La Mar debía reforzar su función residencial y de servicios. Maiquetía se concebía como núcleo de servicios asociado al puerto y al aeropuerto. La unidad aeropuerto-puerto debía potenciar logística, negocios, turismo, vivienda y equipamientos de alcance regional. La Guaira debía recuperar su casco histórico y su relación con el puerto. Macuto-Camurí Chico mantendría funciones residenciales, turísticas y recreativas. Los Corales-Caraballeda-Tanaguarena se proyectaban como zona residencial y turística de alto potencial, pero con fuertes exigencias de protección hidráulica. Carmen de Uria, por su altísimo riesgo, debía destinarse principalmente a usos recreativos y no a vivienda permanente. Naiguatá-Camurí Grande debía aprovechar su vocación turística y universitaria. Care-Anare-Los Caracas y Osma-Chuspa se vinculaban con pesca, turismo, recreación y preservación ambiental (AUAEV 2001).

En el análisis socioeconómico se identificaron dos motores principales. Como componente exógeno destacan puerto y aeropuerto, capaces de generar efectos multiplicadores sobre Caracas, el resto del país y como foco de promoción del turismo nacional e internacional. Como componente endógeno se destaca el turismo, especialmente el turismo de playa, ecológico, recreacional y de negocios. La recuperación, por tanto, debía incluir hospedaje, balnearios, restaurantes, bulevares, parques temáticos, un acuario, marinas y capacitación de trabajadores y servicios. Esta estrategia pretendía que la reconstrucción no se limitara a restituir lo perdido, sino que impulsara una economía más diversificada y productiva.

La vialidad se concebía como elemento estructurante del desarrollo. El sistema propuesto integraba tres ejes: la Gran Soublette como corredor principal este-oeste con énfasis en transporte colectivo; el Boulevard del Mar como vía recreacional y peatonal vinculada a playas, comercio y ciclovías; y una vía específica de apoyo al puerto y al aeropuerto para separar el tránsito pesado del tránsito urbano y recreativo. Las simulaciones realizadas indicaban que una red estructurante tendría beneficios en movilidad, acceso a servicios y generación de empleo muy superiores a una simple restitución de la vialidad previa al desastre.(MARCANO y BARRIOS 2001).

1.5. Proyectos urbanos en las zonas de mayor afectación

Los proyectos para las áreas más golpeadas buscaban convertir las obras de protección en elementos de calidad urbana. En Macuto-El Cojo se propuso el concepto de Ciudad Balneario, recuperando el patrimonio histórico y recreacional, ampliando los canales, creando paseos paisajísticos, reorganizando el frente costero y aprovechando las tierras ganadas al mar para plazas, playas, pequeños comercios, edificaciones ligeras y de baja altura, y las zonas de suelos más estables, para posadas, hoteles y desarrollos residenciales de baja altura. La canalización no debía ser una barrera, sino un

eje de espacio público que integrara parques, paseos, barrios, equipamientos y el teleférico.

En Camurí Chico, debido al elevado riesgo hidráulico, se planteó principalmente un gran parque recreacional y balneario, con instalaciones ligeras, áreas deportivas, estacionamientos y paseos, reservando las zonas de menor riesgo para vivienda y turismo. En Los Corales, uno de los sectores más destruidos, la propuesta giraba alrededor del río San Julián. A ambos lados del canal se planteaba un parque público que funcionaría simultáneamente como franja de protección y como espacio recreativo. La idea era aumentar el valor urbano e inmobiliario sin ocupar la zona de mayor amenaza, complementando el proyecto con paseos costeros, marinas, comercios y programas de mejoramiento de asentamientos informales (GRAUER 2001).

Tanaguarena debía conservar su carácter residencial y turístico, pero reorganizarse alrededor de las canalizaciones de Cerro Grande y Quebrada Seca, dejando franjas de parque a ambos lados de los cauces. Carmen de Uria recibió un tratamiento radicalmente distinto. Su ocupación histórica había desviado el río y consolidado viviendas en una planicie recurrentemente inundable. El desastre de 1999 mostró la imposibilidad de mantener allí una ocupación residencial segura. La AUAEV propuso una rehabilitación ambiental mediante un parque recreacional, balnearios de río y mar y equipamientos ligeros.

Para la parroquia Naiguatá, la Universidad Simón Bolívar desarrolló propuestas específicas para El Tigrillo, el tramo costero hacia Naiguatá, el propio pueblo, Camurí Grande, Punta Care y Anare. Se combinaron mejoramiento de barrios, escuelas, ambulatorios, vivienda, paseos marítimos, balnearios, ciclovías, recuperación del núcleo universitario y obras de protección. En Camurí Grande, donde convergen cuencas de gran capacidad y donde instalaciones de la USB fueron destruidas en 1999, se proponía reubicar equipamientos importantes en zonas más altas y seguras. En todos estos casos, el principio común era adaptar la función urbana al nivel de amenaza y no intentar imponer el mismo patrón de ocupación en todo el litoral (GONZÁLEZ et al. 2001). Véase la Figura 6.

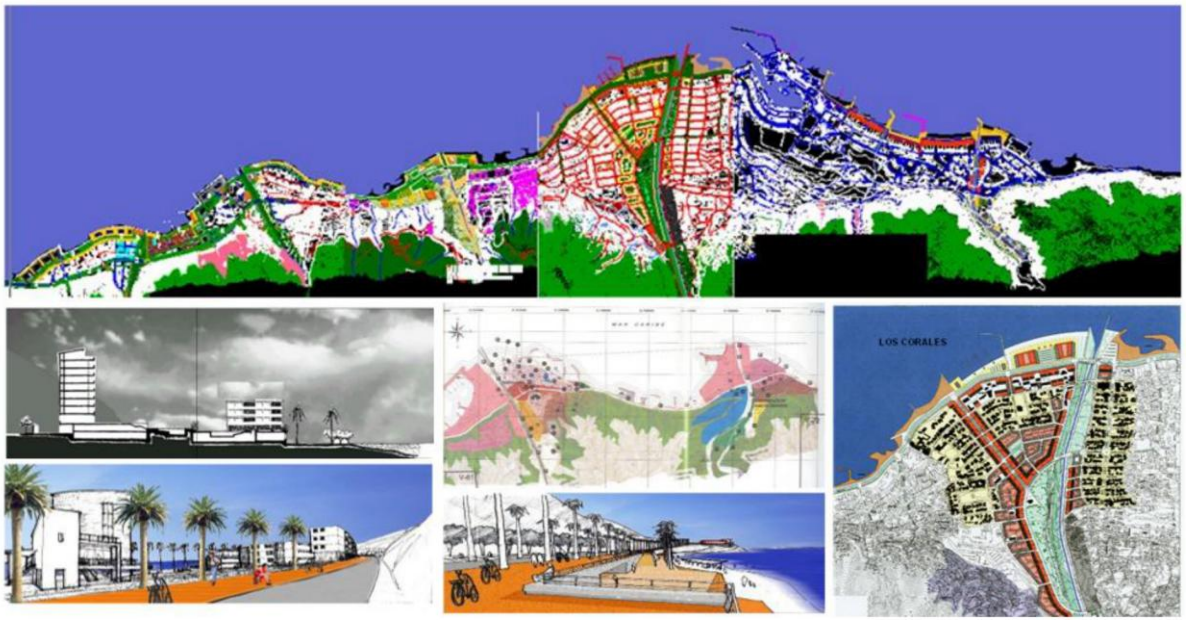


Figura 6. Planificación urbana de Vargas. Fuente: no indicada en el manuscrito original.

1.6. Protección hidráulica y manejo integrado del riesgo

La seguridad de Vargas requiere un sistema de protección hidráulica y no una colección de obras aisladas. Después de 1999, Venezuela contaba con buena formación en hidráulica y mecánica de fluidos, pero con experiencia limitada específicamente en flujos de barro de alta densidad. La AUAEV incorporó cooperación técnica de Japón, China, Austria, Francia, Italia, España, Noruega y Estados Unidos, combinando especialistas internacionales con profesores e ingenieros venezolanos. Se trabajó sobre 23 cuencas afectadas y se diseñaron presas abiertas, presas cerradas, canalizaciones, escolleras y otras estructuras. Se creó, con sede principal en el Instituto de Mecánica de los Fluidos de la UCV, un foco de desarrollo de conocimiento que permitiría que estudiantes y egresados pudieran conocer y diseñar este tipo de obras de control, incrementando de esa manera las capacidades para la reducción de riesgos de desastres y la creación de un centro nacional e internacional de estudio e investigación, articulado con una red de especialistas a nivel mundial (GENATIOS y LAFUENTE 2020).

El manejo integrado del riesgo combina medidas activas y pasivas. Las medidas pasivas reducen la vulnerabilidad

mediante planificación del territorio, mapas de amenaza, normas constructivas, educación, sistemas de alerta, refugios, organización comunitaria y planes de evacuación. Las medidas activas contienen la amenaza mediante reforestación, estabilización de taludes, drenajes, control de la erosión, represas y canalizaciones. Ninguna obra individual elimina el riesgo y la protección depende de cadenas funcionales de estructuras, mantenimiento continuo y una ocupación urbana compatible con la dinámica de las cuencas.

Las represas cerradas retienen sedimentos y estabilizan la pendiente, pero pierden capacidad cuando se colmatan. Las represas abiertas permiten el paso de materiales pequeños y moderados mientras retienen bloques de mayor potencial destructivo. Deben tener aberturas adecuadas, anclajes robustos, protección contra socavación y accesos para mantenimiento. En sistemas modernos se combinan estructuras rompedoras de flujo en las partes altas, destinadas a reducir energía y velocidad, con represas abiertas para detener grandes rocas y estructuras adicionales para estabilizar el cauce. Las canalizaciones, por su parte, deben conducir el flujo hacia el mar con trazados preferiblemente rectos o con pocas curvas, secciones suficientes, materiales capaces de resistir abrasión e impacto y mantenimiento permanente (SUÁREZ 1993, MARTÍNEZ 2000).

A fin de ilustrar un ejemplo adecuado de manejo del problema, la AUAEV emprendió la construcción de las obras de Guanape o Punta de Mulatos, proyectadas en concreto y ejecutadas por el Fondo de Transporte Urbano (FONTUR) siguiendo los proyectos y la coordinación de la AUAEV. La presa abierta mostró durante años un comportamiento satisfactorio y un efecto de autolimpieza, por el cual lluvias frecuentes removían progresivamente sedimentos acumulados en eventos mayores. Este caso demuestra la importancia de respetar la ingeniería conceptual, diseñar para las características reales del flujo y realizar mantenimiento sistemático. Véase la Figura 7

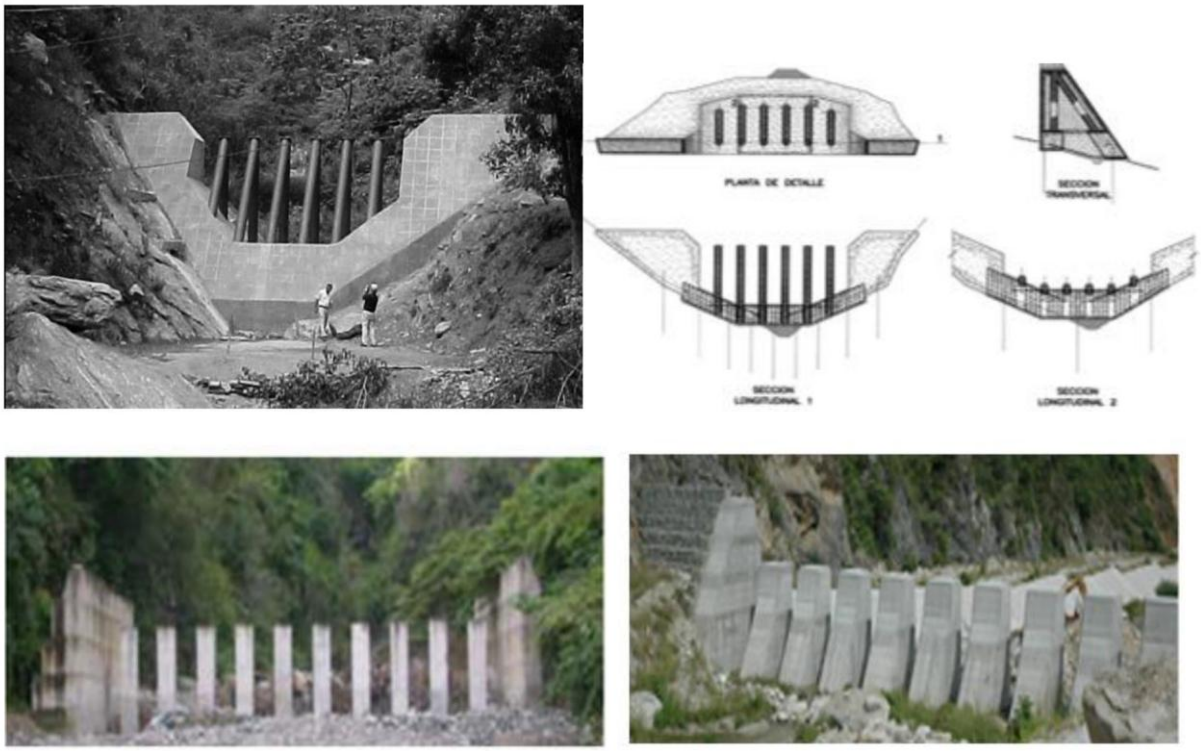


Figura 7. Represas de control de flujos torrenciales.

1.7. Corpovargas, modificación de proyectos y controversia técnica

La AUAEV era un organismo planificador y, una vez avanzados los proyectos, se creó Corpovargas mediante ley de junio de 2000 para ejecutar, financiar y coordinar la recuperación y el desarrollo. Sus objetivos incluían infraestructura hidráulica y marítima, vialidad, servicios públicos, operaciones urbanísticas, desarrollo social, promoción empresarial, atención de asentamientos en riesgo y estudios ambientales. En teoría, la nueva institución debía convertir en obras la planificación ya conceptualizada y mantener los criterios de seguridad definidos después de la tragedia (GENATIOS y LAFUENTE 2020).

Pero la ejecución de los proyectos se apartó progresivamente de esa misión. Después de cambios en la presidencia de Corpovargas y retrasos iniciales, en 2002 comenzó la construcción de varias obras de control. Una inspección realizada en 2003 por antiguos proyectistas de la AUAEV

detectó modificaciones importantes: presas originalmente concebidas en concreto fueron sustituidas por gaviones, se observaron empotramientos insuficientes, cambios de alineamiento y abandono completo de criterios de desarrollo urbano. Estas modificaciones redujeron la seguridad prevista y se realizaron sin la aprobación de varios de los especialistas responsables de los proyectos iniciales (GENATIOS 2003c).

La controversia más importante se refiere a las presas abiertas de gaviones. Los flujos de 1999 alcanzaron densidades superiores a 2 toneladas por metro cúbico y transportaron rocas de gran tamaño. En esas condiciones, una estructura formada por gaviones (cuya densidad aproximada es de 1,7 toneladas por metro cúbico y cuya constitución incluye espacios entre las piedras que los hacen permeables) puede experimentar flotación de sus componentes, rotura de las mallas, desplazamiento por impacto y deterioro acelerado. Además, se identificaron errores en muchas de las obras, como presas con secuencias de aberturas inadecuadas, problemas de cimentación y asentamiento, canales con cotas o alineamientos problemáticos, puentes con altura insuficiente, falta de continuidad hasta el mar y empotramientos laterales débiles (GENATIOS 2003b, GENATIOS 2003c).

Corpovargas justificó algunos cambios alegando el elevado costo de las canalizaciones y de las expropiaciones necesarias. En el informe titulado "Documento de justificación de modificaciones efectuadas por Corpovargas a los proyectos de Control de Torrentes" dice textualmente: "las canalizaciones propuestas implican aproximadamente 70% de la inversión estimada en cada una de las cuencas a proteger, cuyo funcionamiento será por un período de no más de 60 días al año, lo cual no se justifica considerando la relación beneficio-costo". Luego menciona: "Otro de los inconvenientes de algunos proyectos realizados se refiere a los lineamientos de las canalizaciones, las cuales involucran una cantidad importante de expropiaciones y demoliciones de viviendas, vialidades y otras estructuras existentes, lo que implica una importante erogación para estos rubros, además de lo costoso de la obra" (CORPOVARGAS 2002).

Comentarios de esta naturaleza dejan ver el bajo nivel técnico de Corpovargas y lo inadecuado de su acción para la reducción de riesgos de desastres. Ese criterio es absurdo y alejado de los principios más elementales de la reducción de riesgos de desastres. Una infraestructura de protección puede utilizarse sólo durante períodos cortos o durante eventos excepcionales, pero su valor no depende del número de días de funcionamiento, sino de los riesgos que esa infraestructura reduce. Del mismo modo que una estructura sismorresistente se diseña para un terremoto que puede durar segundos y quizá no ocurra durante su vida útil, una presa o canal de protección se construye para impedir la pérdida masiva de vidas y bienes durante una crecida extrema. Por esa razón, el costo de expropiar o reordenar áreas ocupadas no puede analizarse aisladamente del costo humano y económico de otro desastre (GENATIOS 2003a).

1.8. Rechazo internacional a los gaviones y lluvias de 2005

Las críticas desembocaron en un Foro Internacional sobre Manejo de Cuencas Torrenciales realizado en diciembre de 2003. Las delegaciones extranjeras mostraron reservas claras frente al uso de gaviones en presas abiertas sometidas a impactos y abrasión. Los especialistas japoneses recomendaron no construir nuevas obras semejantes. La delegación austríaca señaló que los gaviones podían ser útiles en obras menores, pero no eran recomendables cuando existían choques, arrastre de sedimentos y abrasión, y sugirió protegerlos con concreto. La misión italiana consideró más adecuada la solución de concreto armado. La misión española propuso soluciones mixtas y protección con hormigón en zonas expuestas. Estas opiniones confirmaron las advertencias formuladas por el presidente de la AUAEV (autor del presente artículo) (CORPOVARGAS 2003, GENATIOS y LAFUENTE 2020).

En febrero de 2005 ocurrieron lluvias del orden de aproximadamente un tercio de las ocurridas en 1999. Estas lluvias permitieron observar el comportamiento de varias obras, aun cuando las magnitudes fueron inferiores a las de las lluvias de 1999. En Macuto se acumularon unos 432 mm de lluvias y en Caraballeda unos 382 mm, frente a más de 1.200 mm en quince días en 1999 y 911 mm en los tres días más intensos. Además, en 2005 no existió el largo período de lluvias previas que había saturado los suelos en 1999. Por ello, el hecho de que una estructura sobreviviera a 2005 no podía considerarse demostración suficiente de que resistiría un evento similar al de 1999 o una precipitación máxima probable aún mayor (LÓPEZ et al. 2010d, GENATIOS y LAFUENTE 2020).

A pesar de la menor severidad, se observaron daños. Dos presas de gaviones resultaron destruidas, hubo roturas de mallas y deterioros en Macuto y Galipán; las presas de Anare sufrieron destrucción; una estructura en Camurí Chico presentó socavación lateral y en El Cojo persistieron problemas de descarga y obstrucción. En Camurí Grande, troncos acumulados bajo un puente de poca altura actuaron como una barrera, elevaron el nivel del río e inundaron viviendas del INAVI. En contraste, las obras de Guanape retuvieron sedimentos adecuadamente. El episodio de 2005 es una confirmación de que las deficiencias señaladas en 2003 no eran meramente teóricas y de que la población continuaba expuesta (LÓPEZ et al. 2010d, GENATIOS y LAFUENTE 2020). Véanse las Figuras 8 y 9.



Figura 8. Estructura de gaviones de Anare construida por Corpovargas colapsada por lluvias de 2005.



Figura 9. Daños de estructuras de gaviones construidos por Corpovargas.

1.9. Evaluación en 2019, veinte años después

Al revisar la situación en 2019, veinte años después de la tragedia, se pudo verificar claramente que la realidad del estado se apartó de la visión de reconstrucción concebida por la AUAEV en 2000 y 2001. La recuperación urbana fue muy limitada, y, en gran medida, dependió de los esfuerzos individuales de habitantes, comerciantes y empresarios, sin que estuviera enmarcada en el plan de desarrollo territorial previamente preparado por la AUAEV. Muchos espacios que habían quedado disponibles para proyectos de transformación urbana fueron nuevamente ocupados de manera improvisada. Persistieron viviendas informales cerca de los cauces y se desarrollaron nuevas edificaciones sin una integración adecuada con servicios, paisaje, movilidad y reducción del riesgo (GENATIOS y LAFUENTE 2020).

La vialidad construida entre Camurí Chico y Tanaguarena es presentada como ejemplo de esa divergencia. Se construyó una vialidad que, al inaugurarla, la denominaron "autopista", lo cual significa que permite la circulación a altas velocidades. Esto contrasta con el Boulevard del Mar y la red estructurante propuesta originalmente, que pretendían integrar movilidad, recreación, paisaje, comercio y transporte público. Dadas las características de la vialidad y el peligro que representaba para la población poder acercarse al frente marino y a los balnearios, fue denominada popularmente " la guillotina". También se critica la construcción de conjuntos habitacionales y otras intervenciones que, ocuparon terrenos estratégicos, interrumpieron relaciones visuales entre montaña y mar o no estuvieron acompañadas por los servicios necesarios.

A los veinte años de ocurrido el desastre de 1999, el balance de la evaluación de la calidad y condición de las obras es mixto, en materia de protección hidráulica. Se construyeron decenas de presas y cerca de treinta kilómetros de canalizaciones, pero una proporción importante de las presas es de gaviones, con el incremento del riesgo que esto representa. Algunas obras funcionaban adecuadamente, mientras otras estaban inconclusas, deterioradas, colmatadas o necesitaban reconstrucción. Se encontraron problemas en Piedra Azul, Osorio, Cariaco, Punta de Mulatos, Macuto, Tacagua, El Cojo,

Camurí Chico, Los Corales y Cerro Grande. En varios casos los canales no llegaban correctamente al mar, presentaban obstrucciones, curvas pronunciadas, tuberías que atravesaban la sección o falta de mantenimiento. En Camurí Grande persistía el problema del puente que podía retener troncos y elevar el nivel aguas arriba. Naiguatá aparece como un caso más favorable, con una canalización concluida que contribuye a proteger a la población (LÓPEZ et al. 2010c, GENATIOS y LAFUENTE 2020).

El deterioro y la colmatación son especialmente preocupantes porque las estructuras de retención pierden capacidad si no se remueven sedimentos y vegetación. Una obra correctamente diseñada puede dejar de cumplir su función si no existe una política sostenida de inspección y mantenimiento. La reducción del riesgo no es un proyecto con fecha final. Las cuencas continúan produciendo sedimentos y la ciudad continúa transformándose, de modo que el control debe ser permanente y adaptativo.

1.10. Lecciones de Vargas.

La conclusión general es que la mayor falla de la reconstrucción fue abandonar la visión integral de desarrollo urbano y protección ambiental que se había formulado después de 1999. Al no ejecutarse de manera coherente los planes urbanos, la población reconstruyó en gran medida por su cuenta y se reprodujeron patrones de ocupación anárquica, edificaciones de baja calidad y asentamientos en zonas de alto riesgo. El problema no es solamente estético o urbano. Volver a ocupar áreas junto a los cauces significa restablecer la vulnerabilidad que convirtió un fenómeno natural en una catástrofe humana.

Muchas obras de protección quedaron incompletas o fueron construidas con criterios insuficientes. Varias presas de gaviones presentan deficiencias de anclaje, daños en las mallas o colmatación; algunas canalizaciones no fueron concluidas y otras carecen de mantenimiento. El sistema de recolección y disposición de aguas servidas nunca fue completado. La reconstrucción física y la seguridad ambiental permanecen inconclusas.

Luego de evaluar la situación de las obras en 2019, produjimos recomendaciones que siguen en pie el día de hoy. Es necesario unificar los criterios de amenaza utilizados en el diseño de las obras hidráulicas y adoptar para Vargas una crecida de 500 años como referencia, en analogía con los criterios de seguridad de la ingeniería sísmica. Es necesario revisar las obras existentes, completar las inconclusas, reparar los errores y demoler y reconstruir aquellas cuya concepción no garantice un funcionamiento seguro. A esto debe sumarse la construcción continua de pequeñas obras en las partes altas de las cuencas, la reforestación, el control de la erosión, la vigilancia de los cauces y el mantenimiento sistemático (GENATIOS y LAFUENTE 2020).

De este análisis se desprende una lección institucional y cultural. La prevención de desastres requiere continuidad, memoria, ciencia, capacidad técnica y participación ciudadana. No basta con reaccionar después de una tragedia ni con construir obras visibles. Es necesario mantener redes de medición, producir conocimiento, planificar el territorio, educar a la población, preservar los cauces, controlar la ocupación de zonas peligrosas y sostener durante décadas las estructuras de protección. Vargas es presentado como un caso emblemático de cómo una catástrofe puede abrir una oportunidad para reconstruir mejor, pero también de cómo esa oportunidad puede perderse cuando la planificación técnica se fragmenta, la memoria del riesgo se debilita y las instituciones abandonan los criterios de seguridad que deberían orientar el desarrollo (LAFUENTE y GENATIOS 2003).

2. La Guaira:

El 14 de junio de 2019 se promulgó en Gaceta Oficial la reforma que sustituyó el nombre de Estado Vargas por Estado La Guaira. Este cambio marca un punto de inflexión más en la vida de los varguenses, en el camino hacia el deterioro de su calidad de vida (CONSEJO LEGISLATIVO DEL ESTADO VARGAS 2019).

2.1. El evento sísmico del 24 de junio

El 24 de junio de 2026 Venezuela sufrió uno de los desastres naturales más graves de su historia. A las 6:04 de la tarde, hora local, se produjo un terremoto de magnitud Mw 7,2, seguido apenas unos 39 segundos después por otro de Mw 7,5. El Servicio Geológico de Estados Unidos, USGS, clasificó ambos eventos con una alerta PAGER roja y registró intensidades que alcanzaron aproximadamente el nivel IX de la escala de Mercalli, correspondiente a una sacudida violenta. Los terremotos fueron además relativamente superficiales, aproximadamente entre 10 y 20 kilómetros de profundidad según los distintos modelos, lo que incrementó considerablemente su capacidad destructiva. Las zonas más afectadas se encuentran localizadas muy cerca de la falla (USGS 2026a). Véase la Figura 10.

No se trató simplemente de un terremoto seguido de una réplica ordinaria. Los estudios sismológicos posteriores han descrito el fenómeno como un doblete sísmico, es decir, dos rupturas de magnitudes comparables ocurridas casi simultáneamente. Los análisis relacionan la secuencia con el complejo sistema de fallas que atraviesa el norte de Venezuela, particularmente la interacción entre las fallas de Boconó y San Sebastián. La ruptura se propagó hacia el este a lo largo de la región centro-norte, por unos 250 km, lo que contribuye a explicar por qué los daños más graves no se concentraron únicamente cerca del punto inicial de ruptura, sino que alcanzaron zonas densamente urbanizadas de la costa y del área metropolitana de Caracas. Inicialmente el USGS localizó los dos epicentros en las cercanías de San Felipe. Posteriormente se determinó que el foco de lo que se consideró como el segundo terremoto estuvo en el litoral central (EERI 2026, USGS 2026a).

Los movimientos fueron sentidos en una extensa franja del país. Los estados más afectados fueron La Guaira, Distrito Capital, Miranda, Aragua, Carabobo, Falcón y Yaracuy, aunque el temblor se percibió en otras regiones. El PNUD estimó inicialmente que unos 8,6 millones de personas estuvieron expuestas a una sacudida superior a moderada, mientras que aproximadamente 2,1 millones experimentaron niveles severos de movimiento sísmico. Cerca de 1,7 millones de estructuras se encontraban dentro de las áreas afectadas (EERI 2026).

La Guaira resultó especialmente castigada. Catia La Mar, Caraballeda y otros sectores del litoral sufrieron colapsos de edificios residenciales, hoteles, comercios y estructuras públicas. Caracas también registró daños significativos, particularmente en edificaciones vulnerables y sectores donde las condiciones geológicas locales amplificaron el movimiento.

La Red Sismológica Nacional de Venezuela experimentó un importante proceso de ampliación y modernización entre 2000 y 2002, que mejoró su cobertura y capacidad de caracterización de la sismicidad (PALMA et al. 2010), pero a partir de 2009 comenzó a sufrir un abandono y deterioro que condujeron a la situación actual. Para 2026, su capacidad operativa se había reducido severamente; The Washington Post reportó, citando al geólogo Michael Schmitz, que solo cinco de las 35 estaciones que FUNVISIS operaba en 2000 continuaban funcionando (CARPIO 2026). Esta pérdida de cobertura limita la disponibilidad de registros instrumentales locales para caracterizar con precisión la demanda sísmica. A ello se suma que las zonas más afectadas se encontraban muy próximas a la falla y sometidas a efectos de campo cercano, condiciones que deben ser incorporadas explícitamente en los estudios posteriores del evento. El deterioro de la red sismológica impide un reconocimiento profundo de los terremotos, y apunta a la necesidad de recuperar sus capacidades ante los riesgos sísmicos de las regiones de Oriente y los Andes venezolanos.

En el presente boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH), se incluirán artículos técnicos que ahondarán en los estudios de los terremotos, su origen y sus consecuencias, por lo que abordaremos solamente algunos de los temas relativos a las consecuencias.



Figura 10. Terremoto en La Guaira. Fuente: U.S. Marine Corps.

2.2. Situación al 24 de agosto de 2026

La magnitud de la pérdida humana ha ido revelándose progresivamente a medida que avanzan las operaciones de búsqueda y remoción de escombros. Las cifras iniciales aumentaron durante semanas porque numerosos cuerpos permanecían atrapados bajo estructuras colapsadas.

Según el balance oficial más reciente publicado el 24 de agosto, 6.509 personas han fallecido. Las autoridades reportan 6.462 personas rescatadas con vida; más de 600.000 toneladas de escombros han sido retiradas y todavía queda una proporción importante del trabajo total. Miles de personas continúan dependiendo de refugios o soluciones temporales. El número acumulado de atenciones en centros hospitalarios reportado por el gobierno ascendió a 226.696; esta cifra corresponde a atenciones médicas acumuladas y no debe interpretarse como 226.696 heridos. El último balance separado de personas heridas divulgado durante varias semanas se situó en 16.740 (TORREALBA 2026, EFE 2026a).

Una cuestión todavía no resuelta es la cantidad de desaparecidos. A dos meses del desastre no existe un balance nacional oficial actualizado y consolidado. La búsqueda de restos humanos continúa particularmente en La Guaira, donde siguen apareciendo víctimas durante la demolición y remoción de edificaciones destruidas. Esta ausencia de una cifra definitiva de desaparecidos introduce todavía una importante incertidumbre sobre el balance de la tragedia.

El terremoto produjo también un importante desplazamiento de población. Un mes después del desastre, la OPS reportaba más de 23.000 personas alojadas en 107 campamentos de transición. Al cumplirse dos meses, las autoridades indicaron que más de 25.000 venezolanos habían tenido que ser acogidos temporalmente en campamentos. Muchas otras familias se trasladaron a viviendas de familiares, iglesias, refugios comunitarios o alojamientos improvisados (OPS/OMS 2026a).

Las consecuencias sociales trascienden la pérdida física de viviendas. Numerosas familias perdieron simultáneamente

familiares, hogares, empleos, negocios y fuentes de ingreso. Entre los niños y adolescentes se han señalado riesgos particulares de separación familiar, interrupción escolar, estrés postraumático y deterioro de las condiciones de vida. UNICEF estimó inicialmente que, a nivel nacional, 1,8 millones de personas, entre ellas 680.000 niños y niñas, necesitaban asistencia humanitaria directamente relacionada con el terremoto (UNICEF 2026).

A dos meses del desastre puede decirse que Venezuela ya no se encuentra en la fase de búsqueda, rescate y atención masiva de emergencia, pero tampoco ha entrado plenamente en una reconstrucción. Se encuentra en una fase intermedia de recuperación temprana y preparación de la reconstrucción de largo plazo.

El riesgo sísmico tampoco puede considerarse completamente terminado. Se han registrado numerosas réplicas desde el 24 de junio y el 18 de agosto se produjo una nueva réplica de magnitud Mw= 4 cerca de La Guaira, sin daños adicionales importantes. Estos movimientos obligan a mantener restricciones de acceso a edificios que todavía no han sido estabilizados o demolidos.

Desde el 29 de julio se desarrolla una Evaluación de Necesidades Post-Desastre, PDNA, en la que participan el Gobierno de Venezuela, Naciones Unidas, Unión Europea, Banco Mundial, BID y CAF. Los días 20 y 21 de agosto se realizó un taller para revisar los primeros hallazgos sectoriales. El objetivo es producir un Marco de Recuperación Resiliente que determine prioridades, responsabilidades institucionales, necesidades financieras y políticas para la reconstrucción (PNUD 2026d).

El desafío central es que la recuperación no se limite a reconstruir las mismas condiciones de vulnerabilidad que existían antes del terremoto. La magnitud de los daños ha puesto en evidencia problemas previos de mantenimiento de edificaciones, calidad del parque habitacional, infraestructura de agua y electricidad, capacidad hospitalaria, planificación urbana y preparación frente al riesgo sísmico. Por ello, tanto Naciones Unidas como el Banco Mundial y el PNUD están insistiendo en el principio de "reconstruir mejor", incorporando mayor resistencia sísmica, revisión de normas, rehabilitación de servicios esenciales y fortalecimiento de las capacidades locales de prevención y respuesta.

En síntesis, la emergencia del 24 de junio ha evolucionado desde una catástrofe sísmica inmediata hacia una crisis de recuperación de largo plazo. La prioridad inicial fue salvar vidas; posteriormente pasó a ser atender a los desplazados y restablecer servicios; ahora, los desafíos fundamentales son reconstruir viviendas e infraestructura, recuperar los medios de vida, asegurar el financiamiento y reducir las vulnerabilidades que podrían convertir un futuro terremoto en una nueva catástrofe. Con daños físicos calculados en decenas de miles de millones de dólares y miles de familias sin una solución habitacional definitiva, la recuperación de Venezuela probablemente será un proceso de varios años y dependerá tanto de la capacidad institucional interna como de la disponibilidad de financiamiento, asistencia técnica y cooperación internacional.

2.3. Viviendas, infraestructura y servicios públicos

Los daños en el parque habitacional constituyen uno de los principales problemas de la recuperación. Al 24 de agosto se habían inspeccionado 60.785 viviendas: 35.545 fueron consideradas habitables, 14.239 quedaron con uso restringido y 11.001 fueron clasificadas como de alto riesgo. En conjunto, 25.240 de las viviendas inspeccionadas no estaban en condición de uso normal sin restricciones. Hasta ese balance se habían entregado 335 viviendas nuevas a familias damnificadas, una respuesta todavía limitada frente a la magnitud de las necesidades (TORREALBA 2026).

También fueron afectados hospitales, escuelas, sistemas de transporte, vías, redes de agua, electricidad y telecomunicaciones. Durante la primera fase de la emergencia, el Aeropuerto Internacional de Maiquetía tuvo que suspender operaciones comerciales, el Metro de Caracas y servicios ferroviarios fueron interrumpidos, y se registraron problemas importantes de electricidad y telecomunicaciones. En las primeras evaluaciones sanitarias, varios hospitales presentaban daños estructurales, sobrecarga extrema, escasez de sangre, medicamentos, ventiladores y capacidad quirúrgica (OPS/OMS 2026a).

La situación sanitaria continúa siendo vulnerable. La OPS mantiene operaciones relacionadas con traumatología, cirugía, rehabilitación, salud mental, vigilancia epidemiológica y agua y saneamiento. Hasta el 5 de agosto los Equipos Médicos de Emergencia nacionales e internacionales habían realizado más de 34.215 consultas, 552 cirugías y 651 hospitalizaciones (OPS/OMS 2026b).

Uno de los riesgos, en este momento (26 de agosto de 2026) es la relación entre los daños en las redes de agua y saneamiento y las condiciones de los refugios. La concentración de personas, el calor, la dificultad para disponer continuamente de agua potable y los problemas de higiene incrementan el riesgo de enfermedades transmisibles y hacen necesaria una vigilancia epidemiológica sostenida.

En lo que corresponde a la infraestructura escolar del estado La Guaira, un levantamiento de campo incorporado en este artículo, con corte al 26 de agosto de 2026, verificó la siguiente situación:

a) Total verificado: 163 planteles. De ellos, 52 (32 %) estaban completamente listos, sin complicaciones, para el inicio del año escolar; 50 (31 %) tenían daño leve-moderado; 15 (9 %) daño severo; 10 (6 %) eran pérdida total o colapso; 32 (20 %) estaban ocupados como refugio, centro de acopio o comando militar; y 2 % permanecían sin información.

b) Refugios: decenas de escuelas sin daño estructural funcionaron como campamentos transitorios. Al 25 de agosto,

el ministro de Educación informó que 12 de los 67 refugios temporales habilitados en escuelas a escala nacional ya habían sido desocupados (EFE 2026b). El levantamiento de campo citado anteriormente encontró, por su parte, 32 escuelas todavía ocupadas en el estado La Guaira.

c) Año escolar: fijado oficialmente para el 14 de septiembre de 2026. El levantamiento de campo muestra que esa fecha era viable de forma inmediata solo en algunas parroquias (El Junko, gran parte de Catia La Mar y Maiquetía) y claramente no viable en otras (Carlos Soublette, el sector La Soublette de Catia La Mar, La Guaira centro y Naiguatá).

2.4. Daños económicos

Las estimaciones sobre el costo económico han cambiado conforme ha mejorado la información disponible. Esto explica por qué existen cifras diferentes y no necesariamente contradictorias.

Dos días después de los terremotos, el PNUD realizó una evaluación rápida basada en imágenes satelitales, modelos sísmicos y datos de exposición y estimó inicialmente unos US$6.700 millones en daños físicos directos, equivalentes aproximadamente al 6 % del PIB. Esa cifra tenía carácter preliminar (PNUD 2026a).

Posteriormente, el Banco Mundial realizó una evaluación más amplia mediante su metodología GRADE y elevó el cálculo a aproximadamente US$19.600 millones en daños físicos directos. Según esta estimación, el 47 % de las pérdidas corresponde a viviendas, 27 % a infraestructura y 26 % a edificios no residenciales. La Guaira y el Distrito Capital concentran alrededor de la mitad de los daños calculados (WORLD BANK GROUP 2026).

Existe además una estimación analítica de UNDRR que llega hasta unos US$37.000 millones, al considerar aproximadamente US$24.000 millones en edificaciones y US$13.000 millones en infraestructura expuesta. Las diferencias entre estas cifras reflejan distintas metodologías y momentos de evaluación. Ninguna de ellas incluye todas las pérdidas indirectas, como interrupciones económicas, pérdida de empleos, reducción de producción, costos sanitarios, asistencia humanitaria o reconstrucción futura (UNDRR 2026).

El PNUD estima que los terremotos podrían reducir en alrededor de 0,5 puntos porcentuales el crecimiento económico venezolano previsto para 2026. A pesar de ello, proyecta un crecimiento cercano al 6,5 %, principalmente por la recuperación petrolera y otras actividades económicas. El problema es que la reconstrucción ocurre en un contexto todavía caracterizado por inflación elevada, debilidad de los servicios públicos, limitaciones fiscales y necesidades sociales anteriores al terremoto (PNUD 2026c).

2.5. Respuesta humanitaria e internacional

La respuesta al terremoto movilizó instituciones venezolanas, organizaciones comunitarias y una amplia cooperación internacional. Equipos de rescate, personal médico y ayuda humanitaria llegaron desde distintos países y organizaciones. Naciones Unidas, OPS/OMS, UNICEF, ACNUR, PNUD y otros actores ampliaron sus operaciones (NACIONES UNIDAS EN VENEZUELA 2026).Véase la Figura 11.

La Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas preparó una adenda al Plan de Respuesta Humanitaria de Venezuela para atender específicamente las nuevas necesidades creadas por el terremoto. El plan contempla asistir a 1,3 millones de personas durante seis meses y requiere alrededor de US$299 millones adicionales. Las prioridades incluyen alojamiento, salud, agua y saneamiento, alimentos, protección, educación y recuperación temprana (OCHA 2026).

Al llegar a los dos meses se observa una disminución del volumen de ayuda internacional. Organizaciones presentes en La Guaira reportan que continúan existiendo necesidades de agua potable, alimentos, higiene, medicamentos, camas y alojamiento. En algunos refugios las familias dependen de suministros externos porque no disponen de cocinas, refrigeración ni infraestructura suficiente.



Figura 11. Rescate. Fuente: U.S. Marine Corps.

2.6. Los escombros generados

La remoción de escombros se ha convertido, en este momento, en una de las actividades centrales de la transición de la emergencia a la reconstrucción. El PNUD calculó originalmente unos 1,2 millones de toneladas de residuos, pero posteriormente revisó la estimación a aproximadamente 2,1 millones de toneladas, después de disponer de imágenes de mayor resolución y verificaciones adicionales (PNUD 2026b).

Al 24 de agosto, el gobierno reportó haber retirado aproximadamente 600.790 toneladas de escombros, equivalentes al 28,61 % del total estimado. Por tanto, más de dos tercios del volumen calculado permanecían pendientes de tratamiento (TORREALBA 2026).

2.7. Un terremoto excepcional no explica por sí solo el patrón de colapsos

Los terremotos del 24 de junio de 2026 constituyeron una solicitación sísmica severa. La ocurrencia de dos eventos de magnitudes aproximadas Mw 7,2 y Mw 7,5 separados por apenas 39 segundos produjo una demanda particularmente exigente sobre las estructuras, porque muchas edificaciones recibieron el segundo movimiento cuando ya habían sufrido daños y pérdida de rigidez durante el primero. Por tanto, sería técnicamente incorrecto atribuir automáticamente cada colapso a una deficiencia de diseño o construcción. Sin embargo, la severidad del terremoto tampoco puede emplearse como explicación suficiente de todo lo ocurrido.

Al igual que la mayoría de las normas sísmicas en el mundo, la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 no pretende que una edificación permanezca intacta frente a un terremoto extremo. Su filosofía admite daños e incluso incursiones importantes en el rango inelástico ante terremotos de gran magnitud. Su objetivo fundamental es proteger la vida y evitar el colapso catastrófico, particularmente mediante la ductilidad, el detallado adecuado de los elementos estructurales, la consideración del tipo de suelo y un proceso adecuado de construcción, inspección y mantenimiento (FONDONORMA 2001).

Desde esa perspectiva, la pregunta relevante no es si los edificios sufrieron daños. La pregunta es por qué conjuntos construidos apenas entre 2011 y 2015, como los de la Gran Misión Vivienda Venezuela, presentaron porcentajes extraordinariamente altos de colapso total, inclinación, hundimiento o daño irreversible.

Una investigación de The Washington Post basada en imágenes satelitales, concluyó que, en Caraballeda, más de la mitad de los edificios públicos de alta densidad pertenecientes a la Misión Vivienda colapsaron, frente a aproximadamente uno de cada diez edificios privados comparables construidos bajo normas modernas. La mayoría de las construcciones privadas que sí colapsaron correspondía a edificios considerablemente más antiguos (CARPIO 2026).

Este dato no constituye por sí mismo una prueba de negligencia. Sin embargo, desde el punto de vista ingenieril, constituye una señal clara de que no basta atribuir los colapsos exclusivamente a la intensidad del movimiento sísmico.

2.8. Sobre la construcción privada vs la construcción pública de cara a los terremotos:

En 2001 se aprobó la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 de Edificaciones Sismorresistentes, que consolidó criterios fundamentales para el diseño estructural frente a la amenaza sísmica, incluyendo la consideración de las condiciones del suelo, la demanda sísmica, la ductilidad y el control de deformaciones. Estas normas eran comparables con otras de alto nivel elaboradas en otros países de América Latina (FONDONORMA 2001).

El Gobierno ha argumentado que la mayor parte de los edificios colapsados pertenecía al sector privado y que el terremoto fue extraordinariamente severo. Ese argumento no es riguroso y requiere de precisiones y correcciones importantes. Comparar simplemente el número absoluto de edificios privados y públicos colapsados es metodológicamente incorrecto. La mayor parte del parque privado de La Guaira es mucho más antiguo que las edificaciones de la Gran Misión Vivienda. Numerosos edificios privados fueron construidos en las décadas de 1960, 1970 y 1980, bajo normas mucho menos desarrolladas y después estuvieron expuestos al deterioro marino y, en algunos sectores, al desastre de 1999.

En este sentido, resulta especialmente relevante la afirmación del geólogo y profesor Michael Schmitz, antiguo investigador de FUNVISIS, quien señaló que "en principio, ningún edificio construido después de la norma sísmica de 2001 debería haber colapsado". Sin embargo, durante los terremotos de junio de 2026 se produjeron colapsos y daños estructurales severos en edificaciones construidas tanto por el sector privado como por el sector público, pero resaltan las edificaciones públicas de los conjuntos de la Gran Misión Vivienda Venezuela, los desarrollos OPPPE y el Urbanismo Hugo Chávez.

La comparación técnicamente válida debe hacerse entre: edificaciones de edades semejantes, sometidas a solicitaciones semejantes y diseñadas bajo generaciones comparables de normas sísmicas. La estimación del Washington Post que indica que en Caraballeda colapsó más de la mitad de los edificios públicos modernos de alta densidad estudiados, frente al 10 % de los edificios privados comparables, no permite determinar por qué falló cada edificio. Pero sí sugiere revisar la tesis de que el patrón observado se explica exclusivamente por la violencia del terremoto (CARPIO 2026).

A fin de obtener una apreciación realista y precisa, la comparación entre el comportamiento de la construcción pública y privada debe sustentarse en estadísticas objetivas y comparables, diferenciando, en primer lugar, cuántas edificaciones construidas antes de 2001 colapsaron, separando las públicas de las privadas; en segundo lugar, qué porcentaje de las edificaciones privadas construidas después de 2001

colapsó o sufrió daños estructurales irreparables; y, finalmente, qué porcentaje de las edificaciones públicas construidas después de 2001 presentó esos mismos niveles de falla. Esta comparación, controlada por antigüedad, ubicación, tipo estructural y condiciones de suelo, permitiría determinar con mayor rigor si la participación del sector público o privado constituye una variable significativa en el desempeño observado. En el caso de la vivienda pública, sería particularmente importante examinar si la rapidez y escala con que se ejecutaron muchos de estos desarrollos, así como los mecanismos de supervisión, control de calidad y cumplimiento de las normas, pudieron haber influido en su comportamiento durante el terremoto. Pero, hasta donde se tiene conocimiento público, la eliminación de escombros está siendo desarrollada sin que esas evaluaciones, tanto de los materiales, como de los proyectos, se hayan realizado.

2.9. El Urbanismo Hugo Chávez

El caso del Urbanismo Ciudad Hugo Chávez es particularmente significativo porque se trata de una urbanización relativamente reciente y de baja altura. El complejo fue desarrollado en Playa Grande dentro de la Gran Misión Vivienda Venezuela (GMVV). Estaba integrado por aproximadamente 196 bloques de cuatro pisos y unas 3.200 viviendas. Su construcción estuvo a cargo de la empresa turca Summa, dentro de los convenios internacionales promovidos por el Gobierno venezolano. Las primeras viviendas fueron entregadas entre 2013 y 2014, por lo que al momento del terremoto muchas de las edificaciones tenían unos doce o trece años de construidas (MARCANO et al. 2026).

Los reportes posteriores al desastre estiman que alrededor del 80 % de los 196 edificios colapsaron o sufrieron daños severos, y un número significativo debe ser demolido. Una tasa de pérdida de esa magnitud en edificaciones de cuatro niveles y de construcción reciente debe considerarse, desde un punto de vista técnico, extremadamente preocupante (MARCANO et al. 2026).

Las fotografías y testimonios disponibles muestran numerosos edificios inclinados, o con aplastamiento de niveles inferiores (ver figura 12). El emplazamiento del urbanismo corresponde a una franja litoral caracterizada por condiciones geotécnicas que deben ser verificadas mediante estudios, en particular la determinación de la profundidad de los sedimentos y la microzonificación. Un error fundamental sería comenzar la reconstrucción considerando únicamente la superestructura. En caso de que el suelo haya contribuido a colapsos, reconstruir en el mismo emplazamiento sin una nueva investigación geotécnica detallada, no disminuiría el riesgo.

El argumento de que el terremoto excedió la norma no cierra la discusión. La empresa Summa, la cual construyó ese "urbanismo", ha afirmado que el proyecto fue diseñado conforme a las normas venezolanas vigentes, que recibió aprobación y supervisión de las autoridades venezolanas y que la intensidad del terremoto pudo superar las solicitaciones contempladas por el código de 2001. También indicó que no fue responsable de las modificaciones ni del mantenimiento realizados después de la entrega. Estas observaciones deben ser consideradas seriamente. Pero tampoco son suficientes para explicar un colapso generalizado (SAYDAM 2026).

En el caso en que la demanda sísmica haya superado determinados valores de diseño, esta situación puede justificar daños mayores que los previstos en los diseños, pero no explica automáticamente por qué edificios de solo cuatro pisos presentaron inclinaciones y pérdidas totales tan extendidas. Además del cumplimiento de una norma sísmica, la seguridad de una construcción también depende de mucho más que introducir una aceleración determinada en un modelo estructural. Requiere que sean correctos: el estudio geotécnico; la clasificación del suelo; el espectro adoptado; la solución de fundaciones; el sistema resistente lateral; el detallado de las conexiones; las propiedades reales de los materiales; la ejecución; la inspección, control y riguroso cumplimiento del diseño estructural al construir la obra; las modificaciones posteriores.

Si cualquiera de esos componentes fue deficiente, afirmar que "el proyecto cumplía la norma" es insuficiente. Existe evidencia de que algunos residentes hicieron modificaciones e instalaciones no previstas en los diseños originales, como tanques de almacenamiento de agua, pisos de cerámica, revestimientos de bloques y otras modificaciones que incrementaron las cargas originalmente previstas. En una vivienda social es frecuente que a lo largo de diez o quince años los habitantes instalen equipos, mobiliario, revestimientos o depósitos de agua. Si pequeñas variaciones de carga fueran suficientes para provocar la pérdida del margen de seguridad sísmica, existiría además una interrogante importante sobre la robustez inicial del sistema. Las cargas adicionales y las modificaciones estructurales no autorizadas pueden impactar el comportamiento de una estructura, pero no parecieran suficientes en este caso, y deben demostrarse como causa y no simplemente suponerse.



Figura 12. Urbanismo Hugo Chávez. Fuente: RatUnderground / Wikimedia Commons.

2.10. Las edificaciones OPPPE afectadas por los terremotos del 24 de junio de 2026

Uno de los aspectos más preocupantes del desastre sísmico del 24 de junio de 2026 es el comportamiento de los conjuntos habitacionales construidos en La Guaira por la "Oficina Presidencial de Planes y Proyectos Especiales" (OPPPE).

La OPPPE fue creada como un organismo adscrito directamente a la Presidencia de la República para desarrollar proyectos urbanísticos considerados extraordinarios. Después de las lluvias de 2010, recibió un papel central en la construcción acelerada de viviendas destinadas principalmente a familias damnificadas. Este esfuerzo se entiende dada la necesidad de dotar de viviendas a una población severamente afectada por las lluvias y a otros, por la necesidad de vivienda, pero los criterios con los que se emprendió este esfuerzo, en muchos aspectos, no fueron adecuados. Entre 2011 y los años siguientes se desarrollaron en La Guaira numerosos edificios de aproximadamente doce pisos, con alta densidad habitacional y una arquitectura repetitiva basada en prototipos de ejecución relativamente rápida. Una investigación reciente realizada por Armando.info identificó nueve urbanismos OPPPE en La Guaira, con 43 torres en total, de las cuales 16 colapsaron y 27 quedaron con daños estructurales importantes. Armando.info señala además que, según cifras oficiales de la propia OPPPE, esos nueve conjuntos sumaban 3.637 apartamentos. El número de apartamentos se sustenta además en una base de datos elaborada en 2021 por El Pitazo y Connectas y en cifras oficiales de la propia OPPPE (EL PITAZO Y CONNECTAS 2021, BOON et al. 2026).

De acuerdo con una investigación de Armando.info basada en las Memorias y Cuentas del Ministerio del Despacho de la Presidencia, la OPPPE manejó entre 2011 y 2015 un presupuesto equivalente a aproximadamente US$3.274 millones. Sin embargo, la ejecución de esos recursos no fue desglosada públicamente, por lo que no es posible determinar cuánto correspondió específicamente a la construcción de los 3.637 apartamentos OPPPE identificados en La Guaira (BOON et al. 2026).

El desempeño de este conjunto durante los terremotos fue extremadamente deficiente. Las 16 torres colapsadas completamente representan el 37 % del total, mientras que las 27 restantes quedaron con daños estructurales severos y fueron consideradas inhabitables. Por tanto, en los nueve urbanismos analizados, prácticamente el 100 % de las torres sufrió un nivel de daño que impidió su ocupación normal después de los terremotos. En la OPPPE 26 de Caraballeda, por ejemplo, seis de sus doce torres se desplomaron. En la OPPPE 27 colapsaron las cuatro torres que integraban el conjunto (BOON et al. 2026). Ver la Figura 13.

Estas cifras deben analizarse con prudencia. Puede considerarse que el doblete sísmico del 24 de junio fue de una intensidad excepcional y también provocó el colapso de numerosas edificaciones privadas y públicas. No puede concluirse simplemente que cualquier edificio que haya colapsado estaba mal diseñado o mal construido. Sin embargo, la magnitud y uniformidad del daño registrado en las OPPPE constituye una anomalía suficientemente importante como para exigir una investigación técnica independiente. Más aún porque no se trata de construcciones antiguas, sino fundamentalmente de edificios levantados a partir de 2011 bajo normas sismorresistentes modernas (las de 2001).

La evaluación de las OPPPE tampoco debe limitarse a los elementos físicos. La forma institucional mediante la cual fueron concebidas y construidas también debe ser examinada. La construcción se desarrolló bajo una extraordinaria presión por producir rápidamente un gran número de viviendas. El régimen excepcional permitió adjudicar numerosos contratos sin los procedimientos ordinarios de licitación. Armando.info identificó "84 empresas que recibieron 163 contratos de obras y servicios de la OPPPE durante los años iniciales del programa", de las cuales 17 estuvieron directamente involucradas en la construcción o inspección de edificios residenciales en Vargas. En varios casos, las empresas habían

sido creadas recientemente, tenían poca trayectoria comprobable o presentaban objetos sociales que no correspondían con las labores que ejecutaron (BOON et al. 2026, GONZÁLEZ et al. 2026).

Esto no demuestra automáticamente que las obras fueran deficientes, pero permite sembrar la duda, ya que en proyectos de alta responsabilidad institucional y con construcciones de esta importancia y dimensiones, la selección de contratistas, la experiencia técnica, la inspección independiente y la trazabilidad documental constituyen elementos esenciales de la seguridad.

La normativa venezolana COVENIN 1756:2001 reconocía expresamente la importancia de las condiciones del suelo en la determinación de la acción sísmica y establecía diferentes espectros de diseño en función de las características geotécnicas del emplazamiento. Los terrenos donde fueron construidas las OPPPE 26, OPPPE 27 y parte de la OPPPE 22 aparecían históricamente en registros municipales con usos distintos a los residenciales, orientados principalmente a actividades turísticas y recreativas. La clasificación fue modificada cuando comenzó el desarrollo masivo de viviendas, de acuerdo con la investigación realizada por ARI (ARI 2026).

Precisamente por ello resulta preocupante la información aparecida después de los terremotos sobre la manera en que se desarrollaron algunos de estos proyectos.



Figura 13. Edificio Misión Vivienda, Catia La Mar. Fuente: Commons.

El desempeño de las OPPPE de La Guaira durante los terremotos del 24 de junio debe considerarse una de las principales señales de alarma generadas por el desastre. Existe una combinación de evidencias suficientemente seria para justificar una investigación forense estructural, geotécnica e institucional independiente de las edificaciones construidas por la OPPPE y los daños producidos por los terremotos. Además de las torres colapsadas y las dañadas e inhabitables, existen antecedentes generalizados de deterioro; se han documentado posibles deficiencias de confinamiento en columnas; existen dudas sobre la extensión de determinados estudios geotécnicos; y el sistema de contratación y construcción se desarrolló bajo procedimientos extraordinarios y con fuerte presión por acelerar la entrega (ARI 2026, BOON et al. 2026).

La prioridad no debería ser determinar anticipadamente una responsabilidad política o empresarial, sino reconstruir técnicamente lo sucedido. Para ello deben hacerse públicos los estudios de suelo, memorias de cálculo, planos estructurales, diseños de fundaciones, registros de inspección, ensayos de materiales y modificaciones efectuadas durante la construcción. También deben preservarse muestras y elementos de los edificios colapsados antes de culminar su demolición y remoción.

Solo después de comparar lo proyectado con lo realmente construido y modelar el comportamiento de las estructuras frente al movimiento sísmico registrado, será posible separar cuánto del desastre corresponde a la extraordinaria demanda del terremoto y cuánto puede atribuirse a vulnerabilidades que existían desde antes. Difícilmente esa evaluación será realizada.

En todo caso, el resultado observado en los urbanismos OPPPE demuestra que no sería aceptable reconstruir simplemente los mismos edificios sobre los mismos terrenos y bajo los mismos criterios. La reconstrucción debe comenzar por comprender por qué fallaron, porque de lo contrario la solución de la actual emergencia podría reproducir las condiciones que contribuyeron a producirla.

2.11. ¿Hay un problema geotécnico?

La investigación de las OPPPE revela otro elemento: la posible insuficiencia de los estudios geotécnicos. Una fuente que laboró en la OPPPE entre 2011 y 2013, señaló a Alianza Rebelde Investiga (ARI) que los estudios geotécnicos no siempre se efectuaban sobre la totalidad del terreno destinado al desarrollo habitacional y que, en algunos casos, las evaluaciones abarcaban únicamente una porción del lote, sin cubrir toda el área donde posteriormente se construyeron las edificaciones. El problema adquiere todavía mayor importancia porque los terrenos donde posteriormente se levantaron las OPPPE 26, OPPPE 27 y parte de la OPPPE 22 aparecían históricamente en registros municipales con restricciones para el desarrollo residencial. Sin la extensa verificación de los estudios de suelo, información del sistema de pilotaje, memorias de cálculo y datos sobre los refuerzos ejecutados, resulta muy difícil establecer las causas de las fallas estructurales (ARI 2026).

No es técnicamente defendible concluir, sin realizar los estudios necesarios, que el desastre de los urbanismos Hugo Chávez y OPPPE fue únicamente consecuencia de un terremoto excepcional. El terremoto fue el detonante, se presenta una acumulación de condiciones que deben ser analizadas, porque, posiblemente, y de ser ciertas, pudieron aumentar la vulnerabilidad:

En principio, una edificación sismorresistente no depende de que todos sus componentes sean perfectos. Se diseña con redundancia, ductilidad y márgenes de seguridad precisamente porque algunas incertidumbres son inevitables. Cuando una generación de edificios similares, relativamente nuevos, presenta colapsos generalizados, es necesario preguntarse si se perdieron simultáneamente varias de esas líneas de defensa.

2.12. El problema de las columnas

Un hallazgo importante de las inspecciones independientes posteriores al terremoto aparece en el detallado de columnas, tanto en edificaciones construidas por la OPPPE, como en edificaciones construidas por el sector privado.

En el caso de las edificaciones de la OPPPE, una investigación de Alianza Rebelde Investiga (ARI), realizada mediante recorridos de campo en los nueve urbanismos OPPPE de La Guaira con el acompañamiento de un ingeniero estructural, reportó que en al menos cuatro de esos conjuntos se identificaron columnas cuyo refuerzo transversal de confinamiento presentaba estribos con dobleces de 90°, en contraste con los ganchos de no menos de 135° establecidos para el refuerzo de confinamiento por la Norma FONDONORMA 1753:2006. No se trata de una diferencia estética ni de una deficiencia secundaria. El confinamiento transversal constituye uno de los mecanismos fundamentales que permiten que una columna de concreto armado conserve capacidad resistente cuando el concreto comienza a agrietarse y la estructura entra en régimen inelástico. El hallazgo constituye una posible deficiencia de detallado e inspección que debe evaluarse mediante estudios forenses antes de atribuirle una contribución causal específica a los colapsos observados (FONDONORMA 2006, ARI 2026).

Durante un terremoto intenso, las columnas deben ser capaces de deformarse repetidamente sin perder abruptamente su capacidad portante. Las ligaduras mantienen confinado el núcleo de concreto y restringen el pandeo de las barras longitudinales. Un gancho inadecuadamente dispuesto puede abrirse cuando se desprende el recubrimiento de concreto, reduciendo drásticamente el confinamiento precisamente en el momento en que más se necesita. En consecuencia, si esta disposición fuera confirmada de manera sistemática mediante estudios forenses, estaríamos ante una deficiencia directamente relacionada con el mecanismo fundamental de resistencia sísmica de la estructura, además de las deficiencias de la inspección de la construcción. Esto resulta preocupante porque las torres OPPPE eran edificaciones modernas construidas después de 2011, es decir, después de la entrada en vigencia de las normas sismorresistentes del 2001 y de la norma FONDONORMA 1753:2006, que regula el Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural, publicada en agosto de 2006.

Una situación similar, de falta de adecuada colocación de los estribos en las columnas, también se encontró en edificaciones construidas por el sector privado en Caraballeda, con la diferencia de que esas edificaciones fueron construidas en las décadas de 1970, 1980 y 1990, antes del establecimiento de las normativas de 2001 y antes de la entrada en vigencia de la norma FONDONORMA 1753:2006. Véanse las Figuras 14 y 15.



Figura 14. Estribos con amarre deficiente. Fuente: Clovis Hamel.



Figura 15. Elementos estructurales destruidos por los terremotos. Fuente: Clovis Hamel.

2.13. La ocupación de los terrenos del aeropuerto para la construcción del urbanismo Hugo Chávez:

La localización del Urbanismo Hugo Chávez plantea no solamente un problema de seguridad sísmica, sino también una cuestión fundamental de ordenamiento territorial y desarrollo económico. El aeropuerto de Maiquetía fue concebido después de la tragedia de 1999 como uno de los elementos estratégicos para la recuperación y el desarrollo de Vargas, con capacidad de convertirse en una plataforma de conexión internacional de importancia para Venezuela. Esta visión tiene antecedentes incluso anteriores: el Plan Maestro del aeropuerto de 1968 contemplaba importantes áreas para su expansión hacia el oeste. Una parte de los terrenos posteriormente ocupados por el Urbanismo Hugo Chávez perteneció al propio aeropuerto, por lo que su utilización para vivienda, junto con otras construcciones realizadas en áreas vinculadas al recinto aeroportuario, comprometió un recurso territorial escaso y prácticamente irreemplazable para la futura expansión de Maiquetía (IBRD/IDA 1972, AUAEV 2001).

El terremoto agrega ahora una segunda consideración que hace indispensable revisar completamente el destino de estos terrenos. Playa Grande se encuentra en un ambiente geológico complejo, necesitando verificar la condición de suelos sedimentarios y la importancia de realizar, antes de emprender cualquier construcción, estudios detallados de respuesta sísmica y cimentación. De hecho, el ordenamiento aprobado en 2009 ya exigía estudios geotécnicos y de microzonificación específicos y establecía restricciones de densidad debido a la amenaza sísmica.

Tras el colapso y los graves daños registrados en el Urbanismo Hugo Chávez, y la perspectiva de implantar un plan de desarrollo territorial que considere al aeropuerto y al puerto como elementos fundamentales, no debería autorizarse su reconstrucción ni la repoblación del área.

Antes de cualquier decisión, debe realizarse una evaluación geológica, geofísica, geotécnica y sísmica integral, además del estudio forense de las edificaciones colapsadas y una revisión del valor estratégico de esos terrenos para la expansión del aeropuerto. La zona debe excluirse definitivamente de nuevos desarrollos habitacionales y recuperarse para usos compatibles con su condición de riesgo y con las necesidades futuras del aeropuerto. Véase la Figura 16.



Figura 16. Ocupación de terrenos de expansión del aeropuerto y de su estacionamiento.

2.14. Antes de reconstruir:

No debe reconstruirse automáticamente sobre los mismos terrenos ni con los mismos sistemas hasta establecer las causas de los colapsos. Se necesita una investigación independiente, la cual, debe incluir:

a) recuperación de los proyectos originales
b) publicación de memorias de cálculo
c) recuperación de estudios geotécnicos
d) levantamiento de fundaciones
e) ensayos de concreto y acero
f) evaluación de corrosión
g) revisión del detallado de vigas, columnas y conexiones
h) reconstrucción digital de los edificios
i) análisis no lineal frente a los registros reales del terremoto
j) comparación entre edificios colapsados y edificios vecinos sobrevivientes
k) estudio detallado de microzonificación y potencial licuación
l) evaluación de las modificaciones realizadas por los residentes
m) análisis de los procedimientos de contratación, supervisión e inspección
n) determinación individual de responsabilidades técnicas e institucionales.

Esa investigación establecería criterios para tomar decisiones sobre las nuevas viviendas y resolver parcialmente la emergencia habitacional.

La lección más importante del 24 de junio debería ser que reconstruir no puede significar simplemente volver a levantar rápidamente miles de unidades. Debe significar descubrir por qué unas edificaciones modernas que debían proteger a una población particularmente vulnerable terminaron convirtiéndose, en numerosos casos, en uno de los principales focos de destrucción del terremoto. Y, sobre todo, hacer todos los esfuerzos posibles para que ese mismo proceso no se repita.

2.15. Lecciones del terremoto de La Guaira: conocimiento y responsabilidad

Son muchos los comentarios que podemos incluir en este párrafo; especialmente los relativos a la enorme destrucción institucional que ha sufrido Venezuela en los últimos 27 años, la pérdida del talento profesional y científico, y las irregularidades financieras, entre otros comentarios. Pero vamos a centrarnos en aspectos técnicos asociados a lecciones a ser aprendidas como consecuencia de los terremotos del 24 de junio de 2026.

1. Los terremotos fueron eventos extraordinarios, pero la magnitud de la catástrofe no puede explicarse únicamente como consecuencia de un fenómeno natural. El nivel de daños estuvo condicionado también por vulnerabilidades acumuladas durante décadas, asociadas con el ordenamiento territorial, las características de los suelos, la localización de las edificaciones, la calidad del diseño y la construcción, la inspección, el mantenimiento de las estructuras y la capacidad de las instituciones responsables de prevenir y gestionar el riesgo.

2. Las condiciones geológicas y geotécnicas de La Guaira constituyen un elemento fundamental para comprender los daños. La presencia de depósitos aluviales, suelos de características variables, posibles efectos de amplificación sísmica y diferencias importantes entre terrenos próximos obliga a estudiar cada emplazamiento de manera específica. No

es suficiente evaluar una edificación de forma aislada. El análisis debe considerar conjuntamente el suelo, las fundaciones y la estructura, así como la interacción dinámica entre estos componentes.

3. Los proyectos y obras de ordenamiento territorial y reducción de riesgos planteados después del desastre producido por las lluvias torrenciales de 1999 fueron abandonados, modificados o quedaron inconclusos. Una de las consecuencias es que nuevas edificaciones fueron desarrolladas en un territorio cuyas amenazas naturales eran conocidas o debían ser más profundamente estudiadas, lo cual nunca se hizo a pesar de las recomendaciones emanadas de la AUAEV. La reconstrucción actual no debería repetir este proceso, sino recuperar el conocimiento acumulado sobre el territorio y actualizarlo a partir de la nueva información producida a partir del estudio de los terremotos de 2026 y sus efectos.

4. El comportamiento de las edificaciones afectadas, tanto públicas como privadas, debe ser objeto de investigaciones técnicas independientes y rigurosas. Las causas de un colapso no pueden establecerse únicamente mediante fotografías, observaciones superficiales o explicaciones generales relacionadas con la magnitud del terremoto. Es indispensable reconstruir los mecanismos de falla mediante ingeniería forense y determinar qué papel desempeñaron el diseño, los materiales, la ejecución, las fundaciones, el suelo, el deterioro y las intervenciones posteriores.

5. Las evaluaciones forenses de los materiales y de las estructuras colapsadas son esenciales. Deben incluir ensayos de resistencia del concreto, características y estado del acero de refuerzo, cuantías y disposición de armaduras, espaciamiento y configuración de estribos, anclajes, conexiones, juntas, corrosión, deterioro, calidad de ejecución y correspondencia entre lo efectivamente construido y lo establecido en los proyectos originales.

6. Estas investigaciones deben extenderse a los cálculos estructurales, las memorias de diseño, los planos y los estudios geotécnicos. Para comprender por qué una edificación falló es necesario conocer las hipótesis utilizadas en su diseño, los espectros sísmicos adoptados, las cargas consideradas, los modelos estructurales, los criterios de ductilidad, las características de las fundaciones y la información geotécnica empleada para definirlas. Solo mediante la comparación entre lo proyectado, lo construido y el comportamiento real puede establecerse técnicamente el origen de los daños.

7. La publicación y el acceso a esta información son fundamentales. Los estudios de suelo, memorias de cálculo, planos, especificaciones, registros de inspección y resultados de las investigaciones forenses deberían ponerse a disposición de la comunidad académica y profesional. La transparencia permite contrastar hipótesis, identificar patrones comunes de falla, corregir errores y transformar la experiencia del desastre en conocimiento útil para el futuro.

8. Las investigaciones forenses permiten establecer responsabilidades, pero su importancia va mucho más allá del ámbito legal. Determinar si existieron errores de diseño, deficiencias constructivas, fallas de supervisión, problemas de materiales, decisiones inadecuadas de emplazamiento o modificaciones posteriores es necesario para establecer las responsabilidades técnicas, administrativas, civiles o, eventualmente, penales que correspondan. Sin embargo, su objetivo más trascendente debe ser comprender por qué ocurrieron las fallas para impedir que vuelvan a producirse.

9. Los terremotos del 24 de junio constituyen, desafortunadamente, un inmenso laboratorio para la ingeniería estructural, la sismología, la geología, la geofísica y la gestión de riesgos. La existencia de miles de edificaciones sometidas a movimientos intensos, con diferentes edades, alturas, tipologías estructurales, sistemas de fundación, condiciones de mantenimiento y características de suelo, ofrece una oportunidad excepcional para estudiar el comportamiento real de las estructuras frente a una solicitación sísmica extrema.

10. El conocimiento obtenido de este "laboratorio" puede contribuir directamente a mejorar las normas venezolanas. El análisis de los daños puede permitir revisar espectros de diseño, criterios de microzonificación sísmica, disposiciones para el detallado de estructuras de concreto y acero, requisitos geotécnicos, criterios de ductilidad y procedimientos de evaluación de edificaciones existentes. Históricamente, buena parte de los avances de la ingeniería sismorresistente en el mundo se han producido precisamente después del estudio detallado de terremotos destructivos.

11. La experiencia también debe utilizarse para desarrollar mejores parámetros de control de la construcción. Las investigaciones pueden identificar qué aspectos del diseño y de la ejecución requieren una vigilancia más estricta, qué ensayos deberían ser obligatorios, cuáles detalles constructivos presentan mayor vulnerabilidad y qué mecanismos de inspección y control independiente deberían incorporarse durante la construcción. Esto es especialmente importante en programas de vivienda masiva y en edificaciones de alta densidad.

12. No realizar estas investigaciones significa perder una oportunidad científica excepcional. Una vez demolidas las estructuras y retirados los escombros sin estudios ni documentación adecuada, desaparece una gran cantidad de información que no puede recuperarse posteriormente. El acero deformado, el concreto fracturado, las conexiones, las fundaciones, la disposición real de las armaduras y la geometría de los elementos contienen información fundamental para reconstruir la secuencia y el mecanismo de los colapsos.

13. Por esta razón, la remoción y demolición de estructuras han debido realizarse bajo protocolos de preservación de evidencia. Antes de retirar definitivamente los restos de una edificación colapsada deberían efectuarse levantamientos detallados, fotografías, escaneos, identificación de elementos, toma de muestras y preservación de componentes

representativos. La urgencia de limpiar las zonas afectadas y reducir los riesgos para la población no debería impedir que se documente adecuadamente aquello que puede ser decisivo para comprender las causas del desastre.

14. La destrucción de estructuras colapsadas sin una investigación previa puede implicar también la destrucción de evidencia potencialmente relevante desde el punto de vista legal. Si posteriormente surgieran investigaciones sobre posibles fallas de diseño, construcción, supervisión o mantenimiento, la desaparición de componentes esenciales podría dificultar o imposibilitar la determinación de responsabilidades. Por ello, preservar la evidencia no es solo una necesidad científica, sino también una garantía de transparencia y debido proceso.

15. La realización de estudios de microzonificación sísmica en La Guaira es una necesidad urgente e impostergable. La experiencia reciente ha demostrado que el comportamiento de las edificaciones puede variar significativamente en distancias muy cortas debido a diferencias en el espesor y las características de los sedimentos, la respuesta dinámica de los suelos, la cercanía de fallas, la susceptibilidad de licuación y las condiciones locales de amplificación sísmica. Por ello, no es suficiente aplicar criterios generales a escala municipal. Es necesario identificar, sector por sector, cuáles áreas son aptas para reconstruir, cuáles requieren restricciones especiales y cuáles no deben volver a destinarse a usos residenciales. Esta información debe convertirse en la base técnica obligatoria para cualquier decisión de reconstrucción, planificación urbana, diseño estructural y ocupación futura del territorio.

16. Es necesario retomar y actualizar los planes de ordenamiento territorial como instrumento rector para el uso adecuado del suelo. La reconstrucción no puede responder únicamente a la disponibilidad inmediata de terrenos o a decisiones aisladas de vivienda e infraestructura. Debe apoyarse en una visión integral que considere amenazas naturales, condiciones geotécnicas, densidades admisibles, movilidad, servicios, protección ambiental y áreas estratégicas para el desarrollo económico. La microzonificación y los mapas de riesgo hídrico deben aportar la base científica y los planes de ordenamiento territorial deben traducir ese conocimiento en reglas claras y vinculantes sobre dónde, cómo y para qué puede utilizarse cada porción del territorio.

17. El deterioro de las capacidades técnicas y científicas del país agrava esta situación. Las limitaciones de la red sismológica, la insuficiencia de registros instrumentales, la pérdida de profesionales especializados y el debilitamiento de organismos técnicos reducen la información disponible precisamente en el momento en que más se necesita. Recuperar y fortalecer estas capacidades debería formar parte integral de la reconstrucción.

18. La reconstrucción no debe entenderse simplemente como la sustitución rápida de los edificios destruidos. Debe ser un proceso de aprendizaje que incorpore las lecciones obtenidas de los colapsos, revise los criterios de localización, mejore las normas de diseño, fortalezca los controles de calidad, recupere las capacidades técnicas de las instituciones y establezca sistemas permanentes de inspección, mantenimiento y prevención.

19. No se tiene información sobre si se han hecho investigaciones forenses. Desde una perspectiva de ingeniería forense, esto es extremadamente delicado. Los escombros contienen información sobre: diámetro y cantidad de acero; espaciamiento de estribos; longitud de anclajes; tipos de conexiones; fallas de soldaduras; resistencia del concreto; ubicación de juntas; mecanismos de falla; corrosión; calidad de materiales; profundidad de fundaciones; secuencia del colapso. Una vez triturados, trasladados o reutilizados esos materiales, buena parte de esa información desaparece para siempre. Un análisis forense debe hacerse de manera transparente, con la participación de tres instituciones ajenas al gobierno y a las partes involucradas.

20. Una de las consecuencias más graves de no realizar investigaciones forenses completas, independientes y transparentes es que el país pueda reconstruir sin haber comprendido plenamente por qué fallaron determinadas estructuras. Esto significaría perder no solo la posibilidad de establecer responsabilidades cuando corresponda, sino también la pérdida de un conocimiento que podría contribuir directamente a evitar nuevas pérdidas humanas. Cada edificio colapsado o severamente afectado constituye una fuente de información sobre materiales, estructuras, suelos, diseño, construcción y mantenimiento. Documentar, estudiar y compartir esa información representa una responsabilidad frente a las víctimas y, al mismo tiempo, una inversión en la seguridad futura del país. Pero ya se están eliminando los escombros y esos estudios no se realizaron.

21. A partir de la Norma COVENIN 1756-1:2019, resulta necesario emprender una revisión técnica que incorpore las lecciones derivadas de los terremotos de 2026. La magnitud de los daños observados, particularmente en el Litoral Central, evidencia la conveniencia de evaluar aspectos que la normativa vigente trata de manera limitada o no contempla explícitamente, como los efectos de campo cercano, los pulsos de velocidad y la directividad, la amplificación asociada a depósitos profundos de sedimentos, la interacción suelo-estructura, el comportamiento de la mampostería de relleno y otros elementos no estructurales, así como los mecanismos de falla observados en edificaciones de distintas tipologías. El estudio sistemático y forense de estas experiencias debe servir de base para actualizar los criterios de diseño, detallado, evaluación y rehabilitación sísmica, de modo que la normativa venezolana incorpore el conocimiento generado por este evento excepcional.

22. Por último, es urgente recuperar la red sismológica; otras partes del país se encuentran en zonas de alta amenaza sísmica, son un riesgo incrementado por los lapsos de tiempo transcurridos luego de la ocurrencia de los últimos terremotos importantes; esto incluye particularmente la zona del oriente

del país, alrededor de la península de Paria, así como los Andes por la presencia de la falla de Boconó.

23. Es fundamental extender la educación y el desarrollo institucional para la protección de la población de Venezuela. Véase la figura 17.



Figura 17. Venezuela (Commons).

3. De vuelta a Vargas: ¿Y los riesgos de desastres por lluvias?

Existe además una vulnerabilidad que requiere atención inmediata: el estado de las obras de control de torrentes construidas después del desastre de 1999. De acuerdo con el profesor José Luis López (LóPEZ, 2026), en La Guaira existen alrededor de 63 represas de retención de sedimentos, de las cuales aproximadamente el 70 % se encuentran colmatadas. Una parte importante fue construida con gaviones, lo que obliga a revisar cuidadosamente su comportamiento después de los terremotos del 24 de junio. Es necesario determinar si se produjeron desplazamientos, deformaciones, pérdida de estabilidad o daños que comprometan su funcionamiento. Hasta ahora no se conoce una evaluación de estas estructuras, a pesar de que La Guaira continúa expuesta a lluvias intensas y potenciales crecidas torrenciales y flujos de sedimentos.

Esta evaluación debe servir como punto de partida para determinar qué obras pueden conservarse, cuáles requieren reparación y cuáles deben ser sustituidas. En particular, las represas de gaviones no deberían reconstruirse con la misma tecnología. Las que se encuentren colmatadas pero estables podrían mantenerse cuando resulte conveniente conservarlas como escalones de disipación de energía, siempre que su estabilidad sea comprobada. El objetivo no debe ser simplemente recuperar las obras existentes, sino revisar integralmente el sistema de control de torrentes a partir de las condiciones actuales de las cuencas.

Para ello es indispensable realizar primero un levantamiento topográfico actualizado de las quebradas y cuencas mediante drones, LiDAR y modelos digitales de elevación de alta resolución. Esta información debe incorporar los cambios producidos por los terremotos, la acumulación y distribución de sedimentos, modificaciones en la geometría de los cauces y nuevos deslizamientos o zonas inestables. Sobre esa base podrán desarrollarse modelos hidrológicos, hidráulicos y de flujos de detritos que permitan estimar escenarios de inundación y deslave, identificar las zonas más expuestas y definir con mayor precisión las obras de mitigación, las restricciones de uso del suelo y los sistemas de alerta necesarios (USGS 2026b).

4. Conclusiones

Los desastres de 1999 y 2026 muestran que la vulnerabilidad de La Guaira no puede explicarse únicamente por la magnitud de los fenómenos naturales. La ocupación del territorio, las condiciones geológicas y geotécnicas, la continuidad de la planificación, la calidad del diseño y la construcción, la inspección, el mantenimiento y la capacidad institucional forman parte del riesgo y deben ser abordados de manera integrada.

Los colapsos y daños severos observados en edificaciones modernas requieren investigaciones forenses independientes y transparentes antes de reconstruir. La preservación de evidencias, el acceso a estudios de suelo, memorias de cálculo, planos, ensayos de materiales y registros de inspección son necesarios tanto para establecer responsabilidades como para transformar la tragedia en conocimiento que permita mejorar normas y controles constructivos.

La reconstrucción debe apoyarse en una microzonificación sísmica actualizada, planes de ordenamiento territorial vinculantes y una revisión integral de las obras de control de torrentes. Recuperar las capacidades técnicas, sismológicas, geológicas e hidráulicas del país y mantener sistemas permanentes de inspección y prevención constituye una condición esencial para reducir futuras pérdidas humanas y materiales.

Referencias

ALIANZA REBELDE INVESTIGA (ARI). 2026. “Radiografía de las OPPPE de La Guaira”. 2 de agosto de 2026. <https://alianza.shorthandstories.com/radiografia-OPPPE-de-La-Guaira/>

AUAEV. 2001. Lineamientos de ordenación del territorio del estado Vargas. Versión provisional 2000.

BOON L., P. MARCANO y M. D. VALVERDE. 2026. “Del apuro solo quedó el desastre de las OPPPE”. Armando.info, 19 de julio de 2026. <https://armando.info/del-apuro-solo-quedo-el-desastre-de-las-opppe/>

CARPIO H. 2026. "Venezuela knew a quake could topple these buildings. It built them anyway". The Washington Post, 22 de agosto de 2026. <https://www.washingtonpost.com/world/2026/08/22/venezuela-knew-quake-could-topple-these-buildings-it-built-them-anyway/>

CONSEJO LEGISLATIVO DEL ESTADO VARGAS. 2019. Decreto de reforma de la Constitución del estado que sustituye la denominación «Vargas» por «La Guaira». Gaceta Oficial del Estado Vargas, N.° 1330 Extraordinaria, 12 de junio de 2019.

CORPOVARGAS. 2002. Documento de justificación de modificaciones efectuadas por Corpovargas a los proyectos de Control de Torrentes. Informe institucional, finales de 2002.

CORPOVARGAS. 2003. Foro Internacional sobre Manejo de Cuencas Torrenciales en el Estado Vargas. Corpovargas, diciembre de 2003.

COVENIN 2019. Norma Venezolana COVENIN 1756-1:2019. Construcciones sismorresistentes. Parte 1: Requisitos. 2.ª revisión. Caracas: FODENORCA.

EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE (EERI). 2026. EERI Learning from Earthquakes VERT Report: Phase 1 Response to the M7.2 & M7.5 Yumare, Venezuela Earthquakes, June 24, 2026. 30 de junio de 2026. <https://learningfromearthquakes.org/resources/vert-report-phase-1-response-to-the-m7-2-m7-5-yumare-venezuela-earthquakes-june-24-2026/>

EFE. 2026a. "Suben a 3.342 los fallecidos y a 16.740 los heridos por los terremotos en Venezuela". EFE, 5 de julio de 2026. <https://efe.com/mundo/2026-07-05/cifra-fallecidos-terremotos-venezuela/>

EFE. 2026b. "Venezuela reubicará a alumnos de 91 centros afectados por sismos para próximo año escolar". Infobae, 25 de agosto de 2026. <https://www.infobae.com/america/agencias/2026/08/25/venezuela-reubicara-a-alumnos-de-91-centros-afectados-por-sismos-para-proximo-ano-escolar/>

EL PITAZO Y CONNECTAS. 2021. "Viviendas en el aire. Los 10 años de la Gran Misión no se sostienen". Investigación especial, con apoyo del International Center for Journalists (ICFJ). <https://alianza.shorthandstories.com/VIVIENDAS-EN-EL-AIRE/index.html>

FLORES H., R. GARCÍA, J. L. LÓPEZ, A. SALCEDO y M. NALESSO. 2010. "La cuenca experimental de San José de Galipán". En J. L. López (ed.), Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Caracas: Fundación Empresas Polar-UCV, pp. 161-176.

FONDONORMA. 2001. Norma Venezolana COVENIN 1756:2001. Edificaciones Sismorresistentes. Partes 1 y 2: Requisitos y Comentarios. Caracas: FONDONORMA.

FONDONORMA. 2006. FONDONORMA 1753:2006. Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural. 1.ª revisión. Caracas: FONDONORMA.

GENATIOS C. 2000. AUAEV, Informe a Presidencia de la República. Caracas, junio de 2000.

GENATIOS C. 2003a. "Los desastres y el miedo". El Universal, 19 de diciembre de 2003.

GENATIOS C. 2003b. "Piedras al acecho". El Nacional, 15 de abril de 2003.

GENATIOS C. 2003c. Informe al Consejo Legislativo del Estado Vargas. Caracas, 2003.

GENATIOS C. y M. LAFUENTE. 2020. Vargas: desastre, proyecto y realidad. Caracas: Ediciones CITECI y ANIH, 200 pp. ISBN 9781661790820. <https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2024/12/VARGAS-desastre-proyecto-y-realidad-C-Genatios-y-M-Lafuente-01042020.pdf>

GONZÁLEZ D., V. LARES, P. MARCANO y R. DENIZ. 2026. "Venezuelan Housing Program Scrutinized After Quakes Brought Down Buildings". Organized Crime and Corruption Reporting Project (OCCRP). <https://www.occrp.org/en/feature/venezuelan-housing-program-scrutinized-after-quakes-brought-down-buildings>

GONZÁLEZ L. et al. 2001. Esquema de ordenamiento urbano parroquia Naiguatá. Informe síntesis. Caracas: Instituto de Estudios Regionales y Urbanos, Universidad Simón Bolívar.

GRASES J., J. AMUNDARAY, A. MALAVER, P. FELIZIANI y J. RODRÍGUEZ. 2000. Efectos de las lluvias caídas en Venezuela en diciembre de 1999. Caracas: PNUD-CAF, CBC Publicaciones.

GRAUER O. (coord.). 2001. Rehabilitación del Litoral Central, Venezuela. Caracas: Universidad Metropolitana, Maestría en Diseño Urbano, con apoyo de Harvard School of Design, Harvard University.

HIDALGO L. 2000. "La gran lluvia venezolana de diciembre 1999". En J. L. López y R. García (eds.), Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. Memorias del seminario internacional, Caracas, 27 de noviembre al 2 de diciembre de 2000. Caracas: Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV.

INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT (IBRD) / INTERNATIONAL DEVELOPMENT ASSOCIATION (IDA). 1972. Appraisal of Maiquetia International Airport Project, Venezuela. Report N.° PTR-99a. Transportation Projects Department, World Bank Group, 4 de enero de 1972. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/158441468315002290/pdf/multi-page.pdf>

JACOB M. y O. HUNGR. 2005. Debris Flow Hazards and Related Phenomena. Chichester, Reino Unido: Praxis Publishing Ltd.

LAFUENTE M. y C. GENATIOS. 2003. "Producción Social de Desastres". Question, Le Monde Diplomatique, 2(14), Caracas, agosto de 2003.

LÓPEZ J. L. y D. PÉREZ-HERNÁNDEZ. 2010a. "El extraordinario evento hidrometeorológico de diciembre de 1999 en el estado Vargas". En J. L. López (ed.), Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Caracas: Fundación Empresas Polar-UCV, pp. 27-42.

LÓPEZ J. L., D. PÉREZ-HERNÁNDEZ y F. COURTEL. 2010c. "Monitoreo y evaluación del comportamiento de las presas de retención de sedimentos en el estado Vargas". En J. L. López (ed.), Lecciones aprendidas del desastre de

Vargas. Caracas: Fundación Empresas Polar-UCV, pp. 459-480.

LÓPEZ J. L., D. PÉREZ-HERNÁNDEZ y M. FALCÓN. 2010d. "Efecto de las lluvias del 2005 en las obras construidas en el estado Vargas". En J. L. López (ed.), Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Caracas: Fundación Empresas Polar-UCV, pp. 441-458.

LÓPEZ J. L. 2026. Comentario realizado durante reunión de la comisión de Infraestructura de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, Julio de 2026.

MARCANO F. 2000. "Planificando en tiempos de emergencia". En J. L. López y R. García (eds.), Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. Memorias del seminario internacional, Caracas, 27 de noviembre al 2 de diciembre de 2000. Caracas: Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV.

MARCANO F. y S. BARRIOS (coords.). 2001. Estado Vargas, aspectos socioeconómicos, función urbana y opciones de desarrollo. Litoral Vargas: corredor urbano y red vial estructurante. Caracas: Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCV y Centro de Estudios del Desarrollo.

MARCANO P., V. LARES y R. DENIZ. 2026. "Al antojo de Hugo Chávez se lo tragó la tierra". Armando.info, 5 de julio de 2026. <https://armando.info/al-antojo-de-hugo-chavez-se-lo-trago-la-tierra/>

MARTÍNEZ E. 2000. "Diseño de canalizaciones para transportar flujos de barro". En J. L. López y R. García (eds.), Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. Memorias del seminario internacional, Caracas, 27 de noviembre al 2 de diciembre de 2000. Caracas: Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV.

NACIONES UNIDAS EN VENEZUELA. 2026. "Impulsando la resiliencia en Venezuela: entrega de asistencia esencial a las comunidades afectadas por los terremotos". 24 de agosto de 2026. <https://venezuela.un.org/es/321511-impulsando-la-resiliencia-en-venezuela-entrega-de-asistencia-esencial-las-comunidades>

OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS (OCHA). 2026. Terremotos Venezuela: Adenda al Plan de Respuesta Humanitaria 2026. 12 de julio de 2026. <https://www.unocha.org/publications/report/venezuela-bolivarian-republic/terremotos-venezuela-adenda-al-plan-de-respuesta-humanitaria-2026-enes>

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD / ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OPS/OMS). 2026a. Situation Report No. 8: Earthquakes in Venezuela 2026 (M7.2 and M7.5). 1 de agosto de 2026. <https://www.paho.org/en/documents/situation-report-no8-earthquakes-venezuela-2026-m72-and-m75>

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD / ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OPS/OMS). 2026b. "Venezuela Earthquakes 2026: Emergency Medical Teams Response. As of August 26, 2026". Communication Materials. <https://www.paho.org/en/documents/venezuela-eartquakes-2026-emergency-medical-teams-response-august-26-2026>

PALMA M., F. AUDEMARD y G. ROMERO. 2010. "Nuevos mecanismos focales para Venezuela y áreas vecinas 2005-2008: importancia de la densificación y distribución de la Red Sismológica Nacional". Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 33(2): 108-121. <https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702010000200002&script=sci_arttext>

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 2026a. "Venezuela registra pérdidas económicas de USD 6.700 millones por los terremotos, según estimaciones del PNUD". 26 de junio de 2026. <https://www.undp.org/es/venezuela/comunicados-de-prensa/venezuela-registra-perdidas-economicas-de-usd-6700-millones-por-los-terremotos-segun-estimaciones-del-pnud>

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 2026b. "Los residuos de los terremotos en Venezuela ascienden a 2,1 millones de toneladas, casi el doble de la estimación inicial, según el PNUD". 24 de julio de 2026. <https://www.undp.org/es/venezuela/comunicados-de-prensa/los-residuos-de-los-terremotos-en-venezuela-ascienden-21-millones-de-toneladas-casi-el-doble-de-la-estimacion-inicial>

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 2026c. Desempeño Macroeconómico de Venezuela. Primer Semestre de 2026. 11 de agosto de 2026. <https://www.undp.org/es/venezuela/publicaciones/desempeno-macroeconomico-de-venezuela-primer-semestre-de-2026>

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 2026d. "Venezuela avanza en la Evaluación de Necesidades Post-Desastre para orientar la recuperación tras los terremotos". 21 de agosto de 2026. <https://www.undp.org/es/venezuela/noticias/venezuela-avanza-en-la-evaluacion-de-necesidades-post-desastre-para-orientar-la-recuperacion-tras-los-terremotos-0>

SALCEDO D. 2000. "Los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999 en el estado Vargas y en el Área Metropolitana de Caracas. Características y lecciones aprendidas". En J. L. López y R. García (eds.), Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. Memorias del seminario internacional, Caracas, 27 de noviembre al 2 de diciembre de 2000. Caracas: Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV.

SAYDAM G. 2026. "Venezuela halkından Türk şirketine sitem: 'Madem depreme dayanıklıydı neden yıkıldı?'". Cumhuriyet, 7 de julio de 2026. <https://www.cumhuriyet.com.tr/turkiye/venezuela-halkindan-turk-sirketine-sitem-madem-depreme-dayanikliydi-neden-yikildi-2518767>

SINGER A., L. RODRÍGUEZ, F. AUDEMARD y R. OLLARVES. 2010. "Estimación del período de retorno de manifestaciones de aludes torrenciales en la serranía del litoral por medio de dataciones C14 obtenidas en trinchera al

pie del Ávila y por vía arqueogeológica en las formaciones aluvionales del valle de Caracas". En J. L. López (ed.), Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Caracas: Fundación Empresas Polar-UCV.

SUÁREZ L. M. 1993. Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos. Caracas: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

TORREALBA A. 2026. "A 6.509 asciende el número de personas fallecidas por los terremotos". Últimas Noticias, 24 de agosto de 2026. <https://ultimasnoticias.com.ve/sucesos/a-6-509-asciende-el-numero-de-personas-fallecidas-por-los-terremotos/>

UNICEF. 2026. "Se estima que 680.000 niños y niñas necesitan asistencia humanitaria tras los terremotos en Venezuela". 28 de junio de 2026. <https://www.unicef.org/venezuela/comunicados-prensa/se-estima-que-680000-ni%C3%B1os-y-ni%C3%B1as-necesitan-asistencia-humanitaria-tras-los>

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). 2026. Estimación analítica de daños ocasionados por los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela. Oficina Regional para las Américas y el Caribe, 2 de julio de 2026. <https://www.undrr.org/es/publication/documents-and-publications/estimacion-analitica-de-danos-ocasionados-por-los-terremotos>

URBANI F., J. A. RODRÍGUEZ, L. BARBOZA, S. RODRÍGUEZ, V. CANO, L. MELO, A. CASTILLO, J. C. SUÁREZ, V. VIVAS y H. FOURNIER. 2000. "Geología del estado Vargas, Venezuela". Simposio Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. Caracas: Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). 2026a. "M 7.2 - 23 km SE of Yumare, Venezuela" y "M 7.5 - 28 km SE of Yumare, Venezuela". Earthquake Hazards Program, eventos del 24 de junio de 2026. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zc/executive> <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/executive>

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). 2026b. "2026 Venezuela Sequence Earthquake-Triggered Landslide Hazards". Landslide Hazards Program, 29 de junio de 2026. <https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards/science/2026-venezuela-sequence-earthquake-triggered-landslide-hazards>

WORLD BANK GROUP. 2026. "World Bank Group Estimates Venezuela Earthquakes Damage at $19.6 Billion". Press release, 23 de julio de 2026. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2026/07/23/world-bank-group-estimates-venezuela-earthquakes-damage.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 424 – 433
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/186

CARTOGRAFÍA DE RESPUESTA RÁPIDA PARA LA GESTIÓN DE EMERGENCIAS Y DESASTRES: USO DE FUENTES SECUNDARIAS EN LA EVALUACIÓN DE DAÑOS DEL EVENTO SÍSMICO DENOMINADO TERREMOTO DE LA GUAIRA 24J, 2026

Carlos Enrique GONZÁLEZ ROJAS[1], Laura UGAS[1], Alfredo ASCANIO[2],
Ignacio RINCÓN[3], Ligia CISNEROS[4] Rommel CONTRERAS[5]

RESUMEN

El 24 de junio de 2026 (22:04 UTC), la región centro-norte de Venezuela experimentó una severa liberación coseísta articulada por dos terremotos (M*w* 7.2 precursor y M*w* 7.5 principal) en la intersección tectónica Yaracuy-Carabobo (San Felipe/Yumare). La secuencia de ruptura afectó una extensión territorial superior a 35.000 km², impactando la Gran Caracas (Distrito Capital) junto a los estados La Guaira, Carabobo, Aragua, Miranda, Yaracuy y Falcón. La combinación de elevadas aceleraciones pico del terreno (PGA > 0.4g), amplificación espectral en depósitos lacustres profundos de la Cuenca de Caracas, fallas de terreno por licuefacción litoral y movimientos en masa en la Cordillera de la Costa provocó el colapso crítico de las infraestructuras de movilidad y energía afectando vidas y bienes. Ante la interrupción en la transmisión de datos directos por la degradación de redes móviles, se activaron mecanismos internacionales de teledetección (Copernicus EMS EMSR884, CHARTER/ABAE y Esri, Programa de Respuesta ante Desastre). La interpretación de imágenes de muy alta resolución identificó 3.119 edificaciones afectadas en 13 Áreas de Interés. Para mitigar la ceguera espacial en el nivel táctico, la red de voluntariado técnico universitario articuló la Serie Cartográfica Versión 8 (V8): un conjunto de 526 mapas sectorizados a escala 1:3.000, integrados en mallas cuadriculadas de 590 m \ 590 m en formato impreso A4/Carta. Esta arquitectura de "resiliencia en papel" garantiza la continuidad operativa para la asignación de sectores de Búsqueda y Rescate Urbano (USAR ASR Nivel 2) y la Evaluación de daños y Análisis de Necesidades. Paralelamente, una capa digital de respuesta rápida sostuvo el suministro informativo: un visor cartográfico web estático, servido 19 horas después del evento desde una red de distribución de contenidos (CDN) externa y con capacidad de operación desconectada, permaneció inmune al colapso eléctrico local. La interfaz integró reportes ciudadanos (782 edificaciones, 4.458 fotografías), la zonificación satelital de Copernicus EMS (309 estructuras) y el catálogo sísmico local de réplicas (983 eventos, incluidos los de magnitud 2 ≥ M*w* ≥ 4). Cuando la plataforma ciudadana de origen sufrió la purga de su base de datos el 30 de junio (pasando de 926 a 109 registros), una copia de preservación con regla de unión antirregresión sostuvo el insumo operativo, evidenciando que la preservación de datos constituye una función directa de respuesta humanitaria y no de archivo pasivo.

ABSTRACT

Rapid-response mapping for emergency and disaster management: Use of secondary sources in the damage assessment of the seismic event known as the La Guaira earthquake 24J, 2026

On June 24, 2026, a severe seismic sequence (Mw 7.2 foreshock and M*w* 7.5 mainshock) in the Yaracuy-Carabobo junction affected over 35,000 m² across north-central Venezuela, including Greater Caracas. High peak ground accelerations (PGA > 0.4g), spectral amplification in deep lacustrine soils, liquefaction, and landslides caused critical infrastructure collapse. Due to telecommunications degradation, international remote sensing mechanisms (Copernicus EMS, CHARTER/ABAE, Esri) were activated, identifying 3,119 damaged structures across 13 Areas of Interest. To overcome tactical spatial blindness, a university technical volunteer network produced the Version 8 (V8) Map Series: 526 print-ready A4 maps scaled at 1:3,000 with a 590 m \ 590 m grid to ensure operational continuity for Urban Search and Rescue (USAR ASR Level 2) and damage assessment. Concurrently, a static web map served via external CDN provided offline-capable digital intelligence within 19 hours, integrating citizen reports, satellite damage zones, and local foreshock/aftershock catalogs (Mw ≥ 4). When primary crowd-sourced databases were purged on June 30, an anti-regression preservation mirror sustained operations, demonstrating that data preservation is an active humanitarian response function rather than a passive archiving task.

[1] Depto. de Ciencias de la Tierra, Coordinador – Laboratorio de SIG y Modelado Ambiental (LSIGMA), Universidad Simón Bolívar, Venezuela, carlosgonzalez@usb.ve, Orcid. 0009-0002-5728-1731
[2] Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, alspeed09@gmail.com
[3] CENAMB. Universidad Central de Venezuela. Investigador, huella.fau@gmail.com, Orcid. 0009-0000-8202-859X
[4] Investigadora independiente, Venezuela, ligiadigital24@gmail.com
[5] Academia de Geo Historia del Estado Sucre, rommel@udo.edu.ve, Orcid. 0000-0003-2847-979X

Palabras clave: SIG, Copernicus EMS, evaluación en zonas remotas, voluntariado universitario, teledetección de emergencia, operaciones USAR.
Keywords: GIS, Copernicus EMS, remote damage assessment, university volunteering, emergency remote sensing, USAR operations.

1. Introducción

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres define un desastre como «Una alteración grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad a cualquier escala debido a eventos peligrosos que interactúan con condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad, lo que conlleva una o más de las siguientes pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y ambientales» (UNDRR, 2025). Bajo esa definición, la secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 constituyó un desastre con repercusiones a nivel nacional cuya atención exigió movilizar capacidades técnicas ajenas a la estructura institucional ordinaria.

1.1 Marco Geodinámico y Fenomenología del Evento Sísmico de junio de 2026

El 24 de junio de 2026, el sistema de fallas transcurrente dextral que define el límite transformante entre las placas Caribe y suramericana registró una liberación sísmica de energía de magnitud excepcional. La secuencia, caracterizada como un evento sísmico complejo con dos rupturas principales (Mw 7,2 y Mw 7,5), inició con una nucleación epicentral en el sector San Felipe-Yumare (Estado Yaracuy) e indujo una transferencia de esfuerzos cinemáticos hacia el oriente, activando la Falla de San Sebastián frente al sector de Catia La Mar en el Estado La Guaira (FUNVISIS, 2026). Esta propagación focal generó aceleraciones pico del terreno (PGA) superiores a 0,4 g en la franja litoral y el eje metropolitano (USGS, 2026).

La secuencia telúrica desencadenó cuatro cascadas de amenaza concatenadas con alto impacto en la infraestructura crítica de la región centro-norte del país:

Amplificación de Sitio y Respuesta Espectral: Fenómenos de resonancia estructural en los depósitos fluvio-torrenciales y lacustres profundos de la Cuenca de Caracas (sectores Chacao, Altamira y Los Palos Grandes) así como en los abanicos aluviales (sectores del estado La Guaira), que exacerban el daño en edificaciones de mediano y alto rango de altura (GEER, 2026).

Fallas de Terreno por Licuefacción Litoral: Pérdida severa de la capacidad portante de suelos limoso-arenosos saturados en la franja costera del estado La Guaira y el eje industrial-portuario de Carabobo (Puerto Cabello-Morón) (GEER, 2026).

Movimientos en Masa Rápidos (LMR) e Inestabilidad de Laderas: Desprendimientos de rocas y deslizamientos en las vertientes de alta pendiente de la Cordillera de la Costa, ocasionando la pérdida de conectividad en las arterias viales primarias (autopista Caracas-La Guaira y carretera Panamericana) y el aislamiento de núcleos urbanos costeros.

Dislocación Geodésica: Alteración de las coordenadas de superficie por desplazamientos métricos y centimétricos que afectaron los vértices de primer y segundo orden del Marco Geodésico Nacional Activo (SIRGAS-REGVEN) (IGVSB, 2026; USGS, 2026).

Ante la magnitud de la catástrofe, el Gobierno de Venezuela declaró el Estado de Emergencia. En las primeras 72 horas, el colapso del fluido eléctrico regional y la degradación de las redes de telefonía y de la infraestructura de fibra óptica obstaculizaron la transmisión continua de datos georreferenciados desde el terreno. Este "vacío de información en la fase de emergencia" dificultó la toma de decisiones tácticas y aumentó la exposición al riesgo del personal en campo (Paton & Johnston, 2001).

Debido a la imposibilidad de cubrir, mediante evaluación directa, un área afectada superior a 35.000 km², la Comisión Europea (DG ECHO) activó el servicio *Copernicus EMS On-Demand Rapid Mapping* (código EMSR884). La plataforma Copernicus cuenta con un Servicio de Gestión de Emergencias llamado CEMS Mapping. Esta plataforma de la Unión Europea utiliza imágenes de satélite y otros datos geoespaciales para ofrecer un servicio de mapeo gratuito de peligros naturales y desastres provocados por el hombre en todo el mundo.

CEMS Mapping genera datos vitales para los administradores de emergencias para dar apoyo y ofrecer una respuesta de emergencia efectiva, los esfuerzos de recuperación y la reducción del riesgo de desastres, enlace: https://emergency.copernicus.eu/about/

1.2 Justificación, Contexto Inmediato y Enfoque de la Cartografía de respuesta rápida para la Gestión de Emergencias y Desastres

En medio de la parálisis tecnológica y la incertidumbre post evento, la respuesta técnica emergió de forma paulatina a través de canales de comunicación contingentes. Académicos e investigadores vinculados históricamente al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Modelado Ambiental (LSIGMA-USB) establecieron una red ad hoc de trabajo coordinada conjuntamente por la Prof. Virginia Jiménez (UCV) y Carlos Enrique González (Universidad Simón Bolívar), en articulación directa con las sugerencias del Prof. Michael Schmitz (USB-UCV). A este núcleo se sumaron especialistas adscritos a instituciones nacionales e internacionales, entre ellos Alfredo Ascanio (University of North Carolina at Chapel Hill), Ignacio Rincón (Centro de Estudios Integrales del Ambiente, CENAMB, Universidad

Central de Venezuela, con más de dos décadas de línea de investigación en riesgos, amenazas y vulnerabilidad) y Rommel Contreras (Academia de GeoHistoria del Estado Sucre), entre otros.

Esta iniciativa civil-académica entabló comunicación directa con tomadores de decisiones y entes operativos: la Corporación de Obras Públicas del Ministerio del Poder Popular para Obras Públicas, el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo (MINEC) y la Dirección de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DGCFANB). Paralelamente, se canalizaron requerimientos espaciales a través de agencias de cooperación como la Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA), el equipo de Evaluación y Coordinación en Casos de Desastre (UNDAC) y el Dividendo Voluntario para la Comunidad (DVC).

El diagnóstico interinstitucional confirmó la necesidad crítica de crear una *Serie Cartográfica de Respuesta Rápida* orientada a los equipos de Búsqueda y Rescate Urbano (USAR) y brigadas de evaluación en zonas remotas desprovistas de conectividad. Para garantizar la interoperabilidad entre las plataformas globales (OCHA, Copernicus EMS, Esri DR) y los actores de respuesta locales (Protección Civil, Bomberos y Voluntariado Técnico Universitario), la cartografía se fundamentó en tres pilares conceptuales y operativos:

Métrica de Excepción Táctica (Escala 1:3.000): Se descartaron las escalas regionales normadas (1:25.000 o 1:50.000) por carecer de resolución a nivel de parcela y edificación. Si bien la normativa vigente derivada de la Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional (Asamblea Nacional, 2000) estandariza la cartografía urbana en escalas fijas (1:5.000, 1:2.500 o 1:1.000), la Serie V8 adoptó la escala de contingencia 1:3.000. Esta métrica no estandarizada surge de la adaptación matemática estricta para encajar la malla cuadrícula de 590 m x 590 m de Copernicus EMS en formato imprimible A4 equivalente a Carta. Este ajuste pragmático garantiza la resolución métrica necesaria para evaluar los anchos de calzada, los puntos de estrangulamiento y la huella de las estructuras colapsadas, manteniendo la integridad geométrica requerida para las operaciones de campo.

Malla de Referencia Cuadrícula (Grid Copernicus): Cada hoja cartográfica integra una cuadrícula ortogonal de 590 m x 590 m, derivada del estándar de división sectorial de Copernicus EMS. La asignación alfanumérica unívoca por cuadrante facilita la distribución de los sectores de búsqueda ASR Nivel 2 a los equipos USAR e INSARAG, permitiendo el reporte de hallazgos mediante radiofrecuencia (VHF/UHF) sin requerir el procesamiento de coordenadas complejas.

Principio de "Resiliencia en Papel" e Impresión Descentralizada: Ante la vulnerabilidad de los datos digitales frente a los cortes de energía, los productos cartográficos se optimizaron en formato vectorial simplificado (PDF a 300 DPI, formato A4/Carta). Esto permitió a las Unidades de Inteligencia Cartográfica (UIC) imprimir y entregar mapas tácticos analógicos directamente a los comandantes de escena en los Centros de Operaciones de Emergencia (COE).

El presente artículo analiza el diseño, la evolución e impacto de la *Serie Cartográfica de Respuesta Rápida (V1 a V8)*. Se examina cómo la integración metodológica de fuentes secundarias, sumada a protocolos de preservación activa de datos dinámicos, permitió transformar la "ceguera espacial" inicial en un modelo funcional de resiliencia geoinformativa para la toma de decisiones en escenarios de desastres extremos.

2. Metodología

El desarrollo de la *Cartografía de respuesta rápida para la Gestión de Emergencias y Desastres* evolucionó desde la versión inicial (V1), emitida el 28 de junio, hasta la versión 8 (V8), consolidada el 9 de julio de 2026. La metodología se articuló mediante un flujo de geoprocesamiento continuo diseñado para transformar datos secundarios, heterogéneos y dispersos en capas SIG estandarizadas e interoperables durante las primeras 72 horas posteriores al evento (ver figura 1).

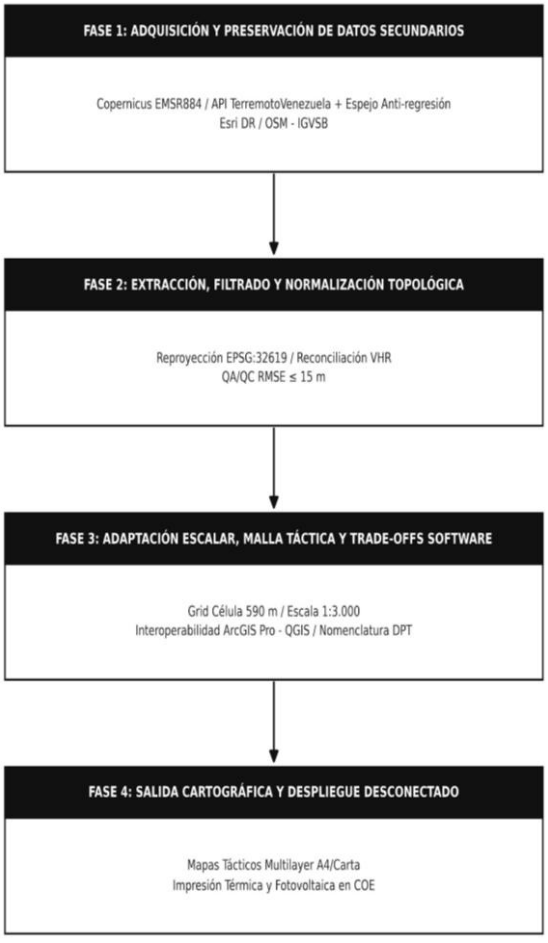


Figura 1. Flujo metodológico para la gestión de datos geoespaciales y salida cartográfica táctica

FASE 1: Insumos Geoespaciales y Fuentes de Información Heterogéneas

Para garantizar la precisión geométrica de la Serie Cartográfica V8 a escala 1:3.000, la captura de datos combinó cartografía oficial, plataformas colaborativas e imágenes satelitales de muy alta resolución (VHR), complementadas con interferometría de radar.

Insumos Cartográficos Básicos y Referenciales

Cartografía Oficial Nacional: División Político-Territorial en formato vectorial del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), a escalas de 1:50.000 (Distrito Capital) y de 1:150.000 a 1:300.000 (estados La Guaira, Miranda, Carabobo y Yaracuy).

Compilaciones Temáticas Regionales: Capas geoespaciales de vialidad, topografía y vulnerabilidad de INGEOLAN y CORPOVARGAS.

Datos Abiertos y Digitales: Vectores de infraestructura urbana extraídos de OpenStreetMap (OSM, 2026) e imágenes de contexto provenientes de Bing Maps (2026).

Servicio de Mapeo de Emergencia Copernicus (ESA EMSR884): Activado el 25/06/2026 (03:51 UTC). El análisis de daño estructural se fundamentó en teledetección multitemporal, procesada por las entidades ITHACA y SERTIT, para activar el servicio EMSR884 del Copernicus EMS. Las capas de polígonos de edificaciones y puntos de interrupción vial fueron publicadas el 27 de junio de 2026 bajo el siguiente marco óptico que se aprecia en la tabla 1 y figura 2.

Tabla 1. Marco óptico utilizado por el servicio de mapeo de emergencia Copernicus (ESA EMSR884)

Momento	Sensor y titular	Adquisición	Resolución
Pre-evento	Pléiades Neo © CNES, distribuida por Airbus DS	05/01/2026 15:10 UTC 08/01/2026 15:17 UTC	0,3 m
Post-evento	Legion © Vantor, vía European Space Imaging	26/06/2026 15:10 UTC	0,5 m

El procesamiento de Copernicus EMS generó 33 productos cartográficos (GeoPackage, JSON y PDF) distribuidos en 7 regiones de evaluación: Caraballeda, Catia La Mar, San Felipe, Morón, Puerto Cabello, Caracas y Costa Central; un ejemplo de ello se aprecia en la siguiente figura.



Figura 2. Imágenes del antes y después estado La Guaira julio 2026. Fuente: Plataforma Vantor (julio 2026).

Geodesia Coseísta e Interferometría Radar (InSAR NISAR-JPL)

Sensor e Instrumento: Radar de Apertura Sintética de la misión NASA-ISRO (NISAR), procesado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL-NASA).

Línea de Base Interferométrica: Comparativa multitemporal entre pases de radar preevento (13 y 18 de junio de 2026) y postevento (25 y 30 de junio de 2026) mediante la técnica InSAR, ver figura 3.

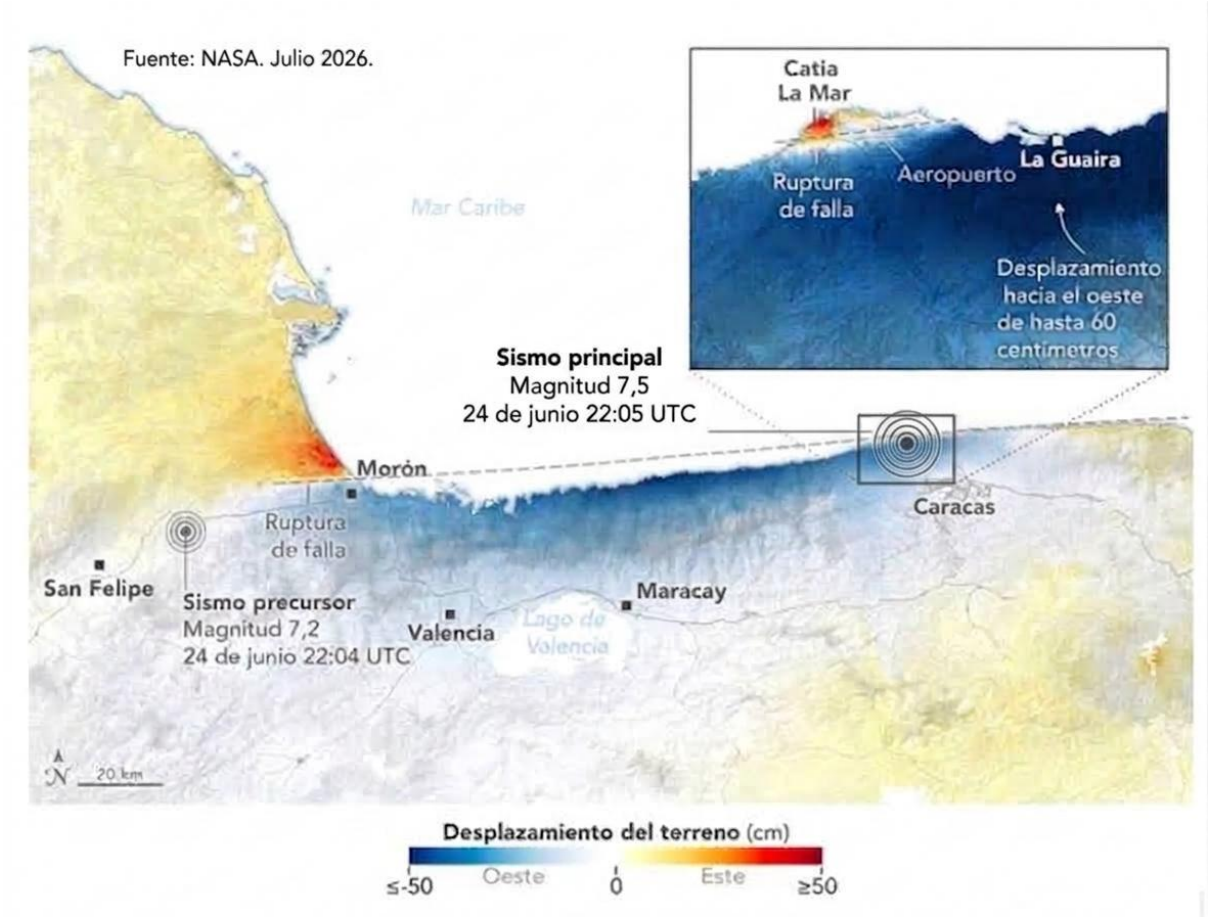


Figura 3. Desplazamiento del terreno en (cm) Terremotos de Venezuela julio 2026
Fuente: Elaboración propia. Modificado del Observatorio de la Tierra de la NASA/Lauren Dauphin. Julio 2026.
https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/donde-se-desplazo-la-superficie-terrestre-por-los-terremotos-de-venezuela/

Nota: El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) emitió una actualización técnica 34 días después del evento. Tras procesar datos adicionales de las estaciones sismológicas y refinar los cálculos del doblete sísmico, la entidad fijó oficialmente el epicentro del terremoto de magnitud 7,5 —ocurrido el 24 de junio de 2026— a 17 kilómetros al oeste de Catia La Mar, estado La Guaira.

Validación de Deformación del Terreno: Cuantificación del desplazamiento cortical de superficie, detectando vectores de deformación horizontal dextral de hasta 60 cm hacia el oeste en la franja litoral de Catia La Mar, como se observa en la figura anterior. Este insumo confirmó el patrón de ruptura de la Falla de San Sebastián, lo que refuerza justamente la cuarta cascada de amenaza (Dislocación Geodésica) y problematiza la precisión de la cartografía por distorsión geodésica.

Plataforma Ciudadana y Preservación de la API "Mapa de Daños Venezuela": Se integró el backend de código abierto (api.terremotovenezuela.com) como motor de crowdsourcing georreferenciado. Ante un evento de vaciado crítico en la base de datos de origen el 30 de junio (en el que los registros activos colapsaron de 926 a 109 por causas no determinadas), la continuidad operativa de la serie cartográfica se garantizó mediante una copia de preservación mantenida de forma contigua desde el 25 de junio. Esta infraestructura ejecutó una regla de unión anti-regresión:

$$\text{Capa}_{\text{Final}} = \text{Capa}_{\text{Histórica}} \cup_{\text{id}} \text{Capa}_{\text{Live}}$$

Impidiendo la sobrescritura o supresión de datos y republicando la API abierta el 30 de junio a las 17:26 HLV. Al corte del 13 de julio, el consolidado verificado sumó 782 reportes georreferenciados (215 colapsos totales, 270 daños severos, 297 parciales) y 4.458 fotografías (770 reportes con soporte fotográfico), con la mayor densidad espacial en Caracas (391 reportes) y Caraballeda (115 reportes). En escenarios desestructurados, la preservación activa de datos opera como una función directa de respuesta humanitaria y no como una mera tarea pasiva de archivo.

Programa de Respuesta ante Desastres (Esri Disaster Response): Consumo de geoservicios REST/ArcGIS Online para la incorporación en tiempo real de capas sobre escombros en vías, tramos viales bloqueados, puntos de Wi-Fi libre y la ubicación de pozos y llenaderos de agua para el soporte logístico (Esri, 2026).

Cartografía Base e Infraestructura Crítica: Ensamblaje de la red vial, la hidrografía y la huella edilicia mediante OpenStreetMap (OSM, 2026), Google Open Buildings (2023), datos de Ingeoland y el Marco Geodésico Nacional Activo del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB, 2026).

FASE 2: Flujo de Geoprocesamiento y Estandarización SIG

El procesamiento vectorial y ráster se realizó en los entornos QGIS 3.x y ArcGIS Pro, adoptando como sistema de referencia oficial la proyección UTM Zona 19N, Datum WGS84 (EPSG:32619). Se aplicó un protocolo de aseguramiento de calidad (QA/QC):

Filtrado Espacial: Reconciliación geométrica cruzada entre las coordenadas reportadas por *crowdsourcing* y la huella de las estructuras de Google Open Buildings frente a las imágenes post-evento. Se depuraron las entidades sin atributo de daño validado o con un error cuadrático medio (RMSE > 15 m).

Limpieza Topológica: Corrección de la capa vial y los polígonos de escombros mediante la eliminación de nodos colgados (*dangles*), intersecciones no divididas y geometrías superpuestas, garantizando el análisis de red para penetración y evacuación.

FASE 3: Adaptación Escalar, Malla Táctica y Trade-offs de Interoperabilidad

Ante el colapso del sistema eléctrico nacional, la pérdida de telecomunicaciones en la Zona 0 y la evacuación de sedes institucionales (incluyendo la oficina humanitaria de OCHA en Caracas), se descartó la impresión en trazadores de gran formato (*plotters*) e infraestructuras *cloud* pesadas:

Malla Táctica Unificada (Copernicus Grid): Se tomó como unidad base la cuadrícula ortogonal de 590 m \ 590 m definida inicialmente por la ESA para el litoral de La Guaira, extendiéndose sistemáticamente sobre los centros urbanos de Miranda, Carabobo y el Distrito Capital.

Escala Operativa de Contingencia (1:3.000): Se adaptó la salida cartográfica al formato A4. Aunque difiere de los estándares cartográficos nacionales tradicionales (Asamblea Nacional, 2000), equivale funcionalmente a los niveles de detalle urbano (1:2.500 / 1:5.000), lo que permite encuadrar exactamente una celda de 590 m por hoja, con una visualización clara de las parcelas y de los cuellos de botella por escombros.

Indexación y Nomenclatura Local: Cada celda fue codificada alfanuméricamente e indexada con la División Político-Territorial (DPT) oficial y toponimia comunitaria, agilizando la orientación de brigadistas sin formación SIG previa.

Trade-offs y Conflictos de Software: La generación automatizada de las series de mapas se basó en la funcionalidad *Map Series* de ArcGIS Pro. Sin embargo, la brecha de acceso a licencias de uso privativo en Venezuela generó limitaciones operativas en el intercambio de datos vectoriales entre instituciones locales y organismos internacionales. Esto evidenció la necesidad crítica de priorizar flujos de trabajo basados en estándares abiertos (p. ej., QGIS, PyQGIS o Atlas) en futuras contingencias para garantizar la interoperabilidad sin barreras de licenciamiento.

FASE 4: Producción Cartográfica para Entornos Desconectados

Los productos de la Versión 8 se distribuyeron en archivos PDF vectoriales simplificados (300 DPI, tamaño A4/Carta), lo que permitió su reproducción física mediante impresoras convencionales alimentadas por generadores portátiles y por arreglos fotovoltaicos en los Centros de Operaciones de Emergencia (COE) y Puestos de Mando Avanzado.

FASE 5 Auditoría Técnica Post-Publicación, Incertidumbre Geodésica y Descargo de Alcance (Post-Hoc Peer Review)

La producción y distribución de los 526 mapas tácticos de la *Serie V8* se ejecutaron bajo una métrica de alta prioridad operacional (prontitud de respuesta) durante la fase crítica pos-sismo. En consecuencia, la cartografía fue puesta en circulación sin un proceso previo de recalibración geodésica de campo ni de ajuste fotogramétrico.

Con el objetivo de auditar la calidad del producto emitido, evaluar los sesgos métricos derivados de la deformación coseísta y sistematizar las lecciones aprendidas para futuras versiones, se estableció un proceso de consulta y evaluación técnica post-facto con especialistas académicos en geodesia, teledetección y cartografía entre los que se encuentran los profesores Douglas Bravo del Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura (DIGA) de la Escuela de Ingeniería Geodésica de la Universidad Central de Venezuela (DIGA-UCV) y Víctor Vilachá de la Universidad Simón Bolívar (USB), experto en Cartografía, SIG y miembro histórico de la

Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (USB/SELPER).

3. Resultados

3.1. Productos Cartográficos y Capas Generadas

El flujo de geoprocesamiento, estandarización e integración de fuentes secundarias consolidó la Suite Cartográfica de Evaluación de Daños y Respuesta Rápida (de las versiones V1 a V8) en físico, para ser impresos. La Versión 8 (V8), emitida el 09 de julio de 2026, representó un hito analítico y operativo para el Voluntariado Técnico Universitario, ver figura 4. Este colectivo interinstitucional integró a especialistas del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Modelado Ambiental de la Universidad Simón Bolívar (LSIGMA-USB), de la Universidad Central de Venezuela (UCV), de la Universidad de Oriente (UDO), de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill (UNC-CH) y de la Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA).



Figura 4. Mapa táctico del sector B44 – El Caribe. Versión V1 (28 de junio de 2026)

La evolución geomática entre la versión exploratoria inicial (V1) y la V8 permitió transitar de una respuesta desarticulada a un empaquetado territorial sistemático. La V8 alcanzó una producción consolidada de 526 mapas tácticos sectorizados a escala de excepción 1:3.000, que cubren 12 núcleos urbanos críticos en 6 entidades federativas severamente afectadas por la secuencia telúrica, ver figura 5.



Figura 5. Flujo de trabajo geomático y estructura de empaquetado territorial de la Cartografía de respuesta rápida para la Gestión de Emergencias y Desastres V8 (09/07/2026)

3.2. Balance Operativo de Cobertura Cartográfica

En consonancia con el principio de "Resiliencia", la cartografía impresa en papel de la serie V8 constó de 526 archivos PDF en formato A4/Carta (300 DPI). Este diseño garantizó la reproducibilidad analógica descentralizada mediante impresoras convencionales alimentadas por sistemas fotovoltaicos y generadores portátiles en los Centros de Operaciones de Emergencia (COE) y Puestos de Mando Avanzado (véanse las figuras 6 y 7).



Figura 7. Cobertura geográfica y balance cuantitativo de productos cartográficos impresos en formato A4 por entidad federativa (Serie V8, emisión 09/07/2026).

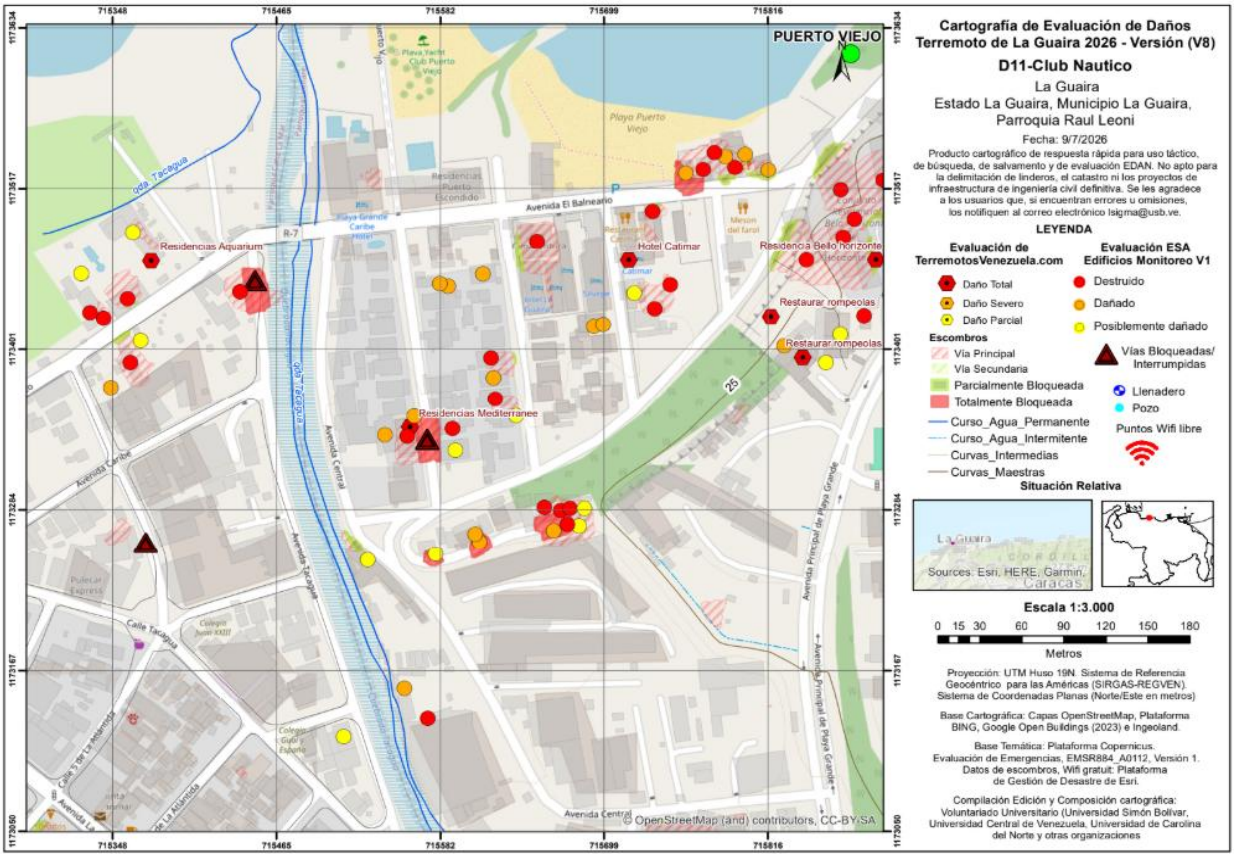


Figura 6. Mapa táctico del sector D11 – Club Náutico. Versión V8 (09 de julio de 2026)

3.3. Validación del Valor de Prontitud vs. Estandarización (Prof. Víctor Vilachá — USB/SELPER)

La evaluación post-publicación confirmó que la escala 1:3.000 no constituye una escala normalizada dentro de la norma urbana e institucional venezolana (la cual salta reglamentariamente de 1:5.000 a 1:2.500 o 1:1.000 según la Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional).

Se determinó que el valor primario del producto radicó en su oportunidad de entrega (prontitud), criterio metodológico avalado por la comunidad de teledetección en emergencias (SELPER). La escala 1:3.000 se reconoció como una solución pragmática no estandarizada que permitió encajar la cuadrícula operacional de 590 m x 590 m de Copernicus EMS en formato A4 para su reproducción en plantas fotovoltaicas portátiles.

La revisión técnica post-despliegue analizó el impacto del desplazamiento horizontal coseísta de hasta 60 cm (detectado mediante InSAR de NISAR-JPL) sobre las capas vectoriales base (IGVSB, 2016; OSM, 2026). La consulta permitió precisar que:

Las capas vectoriales utilizadas conservaron la georreferenciación pasiva preevento sobre el marco SIRGAS-REGVEN, por lo que registran discrepancias posicionales submétricas respecto al terreno deformado. Si bien esta discrepancia es irrelevante para la navegación táctica y la asignación de cuadrantes ASR Nivel 2 (USAR), impide el uso de esta serie para fines catastrales o de deslinde legal de parcelas.

3.4. Diseminación Digital y Descargo de Responsabilidad Táctica (*Disclaimer*)

Para garantizar el acceso asíncrono en zonas con conectividad intermitente, los productos se articularon bajo una infraestructura dual de distribución:

Repositorio Dinámico Centralizado: Durante la fase de contingencia, la distribución operativa se articuló mediante un directorio en la nube (Google Drive) jerarquizado por entidad federativa y núcleo urbano, que permitió a los nodos de respuesta locales e internacionales descargar selectivamente paquetes en formato PDF sin necesidad de transferir la serie completa. Esta vía se conserva como acceso operativo; la referencia permanente y citable del conjunto de datos:

González Rojas, Carlos Enrique; Ugas, Laura; Rincón, Ignacio; Cisneros, Ligia; Contreras Gaspar, Rommel José; Ascanio, Alfredo, 2026, "Serie Cartográfica de Respuesta Rápida V8 Terremoto de La Guaira 24J (Venezuela, 2026): 526 mapas tácticos a escala 1:3.000 sobre malla Copernicus de 590 m", https://doi.org/10.7910/DVN/WJENQ9, Harvard Dataverse, V1

Descargo de Responsabilidad Táctica (*Disclaimer*): Cada hoja cartográfica impresa y paquete digital incluye de forma explícita la siguiente cláusula de uso condicionado:

"La suite cartográfica V8 constituye un recurso de respuesta rápida para uso exclusivo en operaciones de Búsqueda y Salvamento Urbano (USAR), Evaluación de Daños y Necesidades (EDAN) y logística humanitaria en fase de contingencia. Este producto no posee validez legal ni técnica para la delimitación de linderos, el catastro municipal, el ordenamiento territorial ni los proyectos definitivos de ingeniería civil."

4. Conclusiones

Gobernanza Distribuida y Capacidad Adaptativa del Voluntariado: La respuesta técnico-académica (LSIGMA-USB, UCV, UDO, UNC-CH) demostró que el voluntariado universitario actúa como un nodo de procesamiento geométrico crítico ante la parálisis institucional inicial. Esta red autogestionada transformó datos heterogéneos en 526 mapas tácticos sectorizados en un tiempo récord.

Paradigma de la "Resiliencia en Papel": En escenarios de colapso eléctrico masivo y de degradación de las telecomunicaciones (LTE/5G), la cartografía en la nube resulta inoperante en primera línea. La adopción de la escala de excepción 1:3.000 en formato análogo Carta/A4 validó que el producto impreso es el único insumo que garantiza la continuidad de las operaciones de Búsqueda y Rescate Urbano (USAR) e inspección de Evaluación de daños y Análisis de Necesidades (EDAN).

Preservación Activa como Función de Respuesta Humanitaria: La falla en la base de datos primaria de crowdsourcing el 30 de junio demostró que la conservación activa (mediante un servidor espejo y reglas de unión antirregresión) no constituye un archivo pasivo, sino una función directa de respuesta. Sin este mecanismo, la componente ciudadana de la Serie V8 habría perdido más del 88% de sus registros georreferenciados.

Interoperabilidad Mediante Fuentes Secundarias: La integración de servicios globales (Copernicus EMS, Esri DR) y nacionales (SIGEOS-FUNVISIS, TerremotoVenezuela) demostró que la estandarización de atributos bajo los esquemas OCHA/INSARAG suplió la ausencia de levantamientos primarios en las primeras 72 horas del evento.

Sinergia Estado-Academia: Se evidenció una brecha entre la recopilación de datos por parte de los entes gubernamentales y la velocidad de su procesamiento analítico. La articulación entre el sector universitario y las instituciones públicas es el único mecanismo capaz de acelerar la toma de decisiones en el Centro de Operaciones de Emergencia (COE).

5. Recomendaciones

Institucionalización del Voluntariado Técnico Universitario: Crear protocolos de respuesta entre el Ministerio con competencia en Gestión de Riesgos, Protección Civil y las universidades nacionales para activar

automáticamente al personal docente e investigador en geomática dentro de la estructura EDAN/USAR desde las primeras 6 horas post-evento.

Despliegue de Arquitecturas de Datos Espaciales (IDE) Contingentes: Normar la duplicación automatizada (mirroring) y descentralizada de las plataformas de reporte ciudadano con protocolos antirregresión para evitar la pérdida irrecuperable de información geoespacial crítica.

Capacitación en Mallas Tácticas Unificadas: Formación para cuerpos de bomberos y Protección Civil y Grupos de Rescate sobre el uso del Grid Copernicus (590 m x 590 m) y la navegación en escalas urbanas de excepción (1:3.000) operando mediante radiofrecuencia (VHF/UHF).

Utilización de Estándares de Software Libre (FOSS): Reemplazar la dependencia Software por estándares de software libre. Lo que eliminará las restricciones derivadas del licenciamiento y garantizará la interoperabilidad técnica entre las instituciones nacionales y las agencias internacionales.

6. Referencias

Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2000, 28 de julio). Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, N.º 37.002.

ESA Copernicus EMS. (2026). *On-Demand Rapid Mapping Activation EMSR884: June 2026 Earthquake in Venezuela*. European Space Agency / DG ECHO. https://mapping.emergency.copernicus.eu/activations/EMSR884/

Esri Disaster Response Program. (2026). Venezuela Earthquake Emergency Geoservices: Real-time logistics, road blockages and infrastructure layers [Conjunto de datos vectoriales REST]. Esri.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. (2026). Informe técnico sismológico N.º 04-2026: Secuencia coseísta del sistema de fallas Boconó–San Sebastián–El Pilar (Eventos Mw 7.2 y 7.5 San Felipe/Yumare). FUNVISIS.

Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association. (2026). Geotechnical and surface rupture mapping of the June 2026 Venezuela earthquake sequence (GEER Report No. 082). GEER Association.

Google Open Buildings. (2023). Large-scale mapping of building footprints using high-resolution satellite imagery (Dataset V3). Google Research.

Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. (2026). *Diagnóstico del estado del Marco Geodésico Nacional Activo (SIRGAS-REGVEN) y afectación de vértices de primer y segundo orden*. IGVSB.

Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (2026). Dónde se desplazó la superficie terrestre por los terremotos de Venezuela. National Aeronautics and Space Administration (NASA). fecha 13/07/2026. Enlace: https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/donde-se-desplazo-la-superficie-terrestre-por-los-terremotos-de-venezuela/

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2025). Usuarios de información espacial en la gestión del riesgo de desastres y la respuesta a emergencias. https://www.undrr.org/es

OpenStreetMap contributors. (2026). *Planet dump: Vector layers of road networks and urban features in North-Central Venezuela* [Base de datos vectorial]. OpenStreetMap Foundation. https://www.openstreetmap.org

Paton, D., & Johnston, D. (2001). Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 10(4), 270–277. https://doi.org/10.1108/09653560110404252

Plataforma Vantor. (2026). https://vantor.com/

Red Colaborativa de Respuesta Sísmica. (2026). *API Abierta y Base de Datos Preservada de Reportes de Daños del Evento 24J* [Conjunto de datos crowdsourcing y registro fotográfico]. TerremotoVenezuela / Espejo de Preservación de Datos Contingentes.

United States Geological Survey. (2026). *M 7.5 - 12 km ESE of Yumare, Venezuela: ShakeMap, PAGER and secondary ground failure estimates* (USGS Event Page us2026vnez). USGS.

Enlaces a instituciones

ESA-UE. https://www.esa.int/
NASA. https://www.nasa.gov/
COPERNICUS. https://emergency.copernicus.eu/
FUNVISIS. http://www.funvisis.gob.ve/index.php
IGVSB. https://igvsb.gob.ve/
VANTOR: https://vantor.com › product › platform › hub

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 434 – 439
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/187

RESPONSABILIDADES E INCERTIDUMBRES EN TORNO A LA GESTIÓN MUNICIPAL DE LOS RIESGOS SOCIONATURALES Y TECNOLÓGICOS

Raúl ESTÉVEZ[1]

RESUMEN

Se caracterizan las tareas más relevantes que en la Gestión Local del Riesgo de Desastres se requieren para garantizar la seguridad de los asentamientos humanos y sus obras de infraestructura frente a las amenazas socionaturales y tecnológicas en un ámbito geográfico determinado. Particularmente se precisan las acciones y medidas que se esperan de las Alcaldías y Concejos Municipales para garantizar este derecho, muchas de las cuales están establecidas en leyes nacionales como la Ley de Gestión de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009). Se detallan las características más relevantes de un posible Plan de Gestión Local de Riesgos Municipales, integrado por 5 componentes: 1) Un diagnóstico que permita estimar las amenazas, vulnerabilidades y riesgos locales más significativos, así como los recursos humanos y materiales existentes para reducir o eliminar estos riesgos; 2) Diseño e implementación de Medidas Correctivas que eliminen o reduzcan las vulnerabilidades; 3) Diseño e implementación de Medidas Prospectivas para evitar la construcción de nuevos riesgos, 4) Diseño e implementación de Medidas Reactivas, particularmente talleres de búsqueda y rescate, de atención y traslado de heridos, instalación de sistemas de alerta temprana, planes de emergencia y contingencia, manejo de albergues de emergencia, que debemos adelantar para atender eventos mayores y, finalmente, 5) un Plan de Rehabilitación Resiliente que permita reestablecer, inmediatamente, tras un desastre, las líneas vitales: suministro de agua potable, electricidad, gas, telecomunicaciones, Internet, atención médica y hospitalaria, suministro de medicinas, alimento y abrigo, vialidad, incluyendo puentes y túneles, así como las edificaciones esenciales (hospitales, instalaciones educativas y patrimoniales, oficinas públicas).

ABSTRACT

Responsibilities and uncertainties regarding municipal management of socio-natural and technological risks

The most relevant tasks required in Local Disaster Risk Management to guarantee the safety of human settlements and their infrastructure works against socio-natural and technological hazards within a given geographic area are characterized. Particular attention is given to the actions and measures expected from Municipalities and Municipal Councils to guarantee this right, many of which are established in national laws such as the Law on Socio-natural and Technological Risk Management. The most relevant features of a possible Municipal Local Risk Management Plan are detailed, comprising five components: 1) A diagnosis that allows estimating the most significant local hazards, vulnerabilities and risks, as well as the human and material resources available to reduce or eliminate these risks; 2) Design and implementation of Corrective Measures to eliminate or reduce vulnerabilities; 3) Design and implementation of Prospective Measures to prevent the creation of new risks; 4) Design and implementation of Reactive Measures, particularly search and rescue workshops, care and transport of the injured, installation of early warning systems, emergency and contingency plans, and management of emergency shelters, which must be undertaken to respond to major events; and finally, 5) a Resilient Rehabilitation Plan that allows the immediate restoration, after a disaster, of lifelines: drinking water supply, electricity, gas, telecommunications, Internet, medical and hospital care, supply of medicines, food and shelter, roads, including bridges and tunnels, as well as essential buildings (hospitals, educational and heritage facilities, public offices).

Palabras clave: Gestión local del riesgo, amenazas socionaturales y tecnológicas, responsabilidades municipales, plan de gestión del riesgo, rehabilitación resiliente.

Keywords: Local risk management, socio-natural and technological hazards, municipal responsibilities, risk management plan, resilient rehabilitation.

1. Introducción y antecedentes históricos [3]

Dada su vigencia, este artículo es un trabajo actualizado que, bajo el mismo nombre, presenté en el *II Foro Nacional de Gestión Ambiental Urbana*, celebrado en Mérida el 21 de septiembre de 2016, hace ya 10 años. No ha sido publicado, pero fue entregado por escrito a los numerosos alcaldes de todo el país que asistieron al evento. Espero que las actuales y futuras autoridades regionales, a quienes está dedicado, se den por enterados y actúen al respecto.

Como lo señala Maskrey (1993) en su obra Los desastres no son naturales, el grueso de nuestras instituciones y comunidades aún percibe a los desastres como castigos divinos

[1] Universidad de los Andes (ULA), Centro de Investigaciones en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR)

o producto de fenómenos naturales catastróficos, frente a los cuales somos impotentes. Este razonamiento nos conduce a pensar que los desastres son inevitables, de forma que lo único que nos resta es atender sus consecuencias de la mejor manera posible y, en todo caso, prepararnos para cuando llegue el momento de la próxima catástrofe. Bajo esta premisa, los principales protagonistas en el caso de un evento de esta naturaleza son las instituciones que el Estado tiene para atender emergencias: bomberos, protección civil, centros de atención médica, cuerpos de seguridad, ejército, grupos de búsqueda y rescate. Esta visión del problema cambió radicalmente a partir de la última década del siglo pasado, cuando se entendió que los desastres se deben no sólo a la magnitud de los fenómenos naturales o sociales que los generan, las así llamadas Amenazas, sino también al nivel de predisposición que tienen los asentamientos humanos a ser afectados y sufrir daños. A esa condición la llamamos Vulnerabilidad. Los desastres dejaron entonces de considerarse "naturales" y pasaron a ser productos sociales que se gestan al definir formas de ocupación territorial que ignoran las previsiones que cada tipo de amenaza demanda.

Esta nueva concepción generó también un cambio importantísimo de paradigma en la forma como abordamos el problema de los desastres, al comprender que no son inevitables y que podemos minimizar su impacto en la medida que aprendamos a reducir nuestras vulnerabilidades, construyendo obras más resistentes a las amenazas presentes, en sitios donde su impacto sea el menor posible y mejorando la resiliencia de nuestras ciudades y sus pobladores; en otras palabras, repensando la forma como diseñamos e implementamos nuestros planes de desarrollo. Es así como la responsabilidad de nuestras sociedades, en cuanto a la atención de estos eventos, pasó de sólo prepararse para responder apropiadamente frente a la ocurrencia de un desastre, a tratar de evitar la construcción de condiciones de riesgo mediante medidas de prevención y mitigación adecuadas a los planes de desarrollo y a la práctica cotidiana de los organismos y las personas encargados de ejecutarlos. Esto ubica el problema en nuestro terreno, es decir, la principal responsabilidad recae ahora, transversalmente, en todos los sectores del conocimiento y al Estado a los que, a través de sus profesionales, le corresponde minimizar la vulnerabilidad de lo ya construido pero, sobre todo, diseñar planes de desarrollo sostenibles y resilientes, así como edificar las nuevas viviendas, urbanismos y obras de infraestructura en sintonía con los tipos de amenaza que pudieran afectarlos; es decir, no podemos seguir construyendo escenarios de riesgo. Todo esto sin descuidar, por supuesto, nuestra preparación para una respuesta adecuada a cualquier crisis potencial.

Al respecto la aprobada Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009) establece responsabilidades civiles y penales, no prescriptibles, para aquellos funcionarios públicos y profesionales que, por acción u omisión, contribuyan a generar escenarios de riesgos. En consecuencia, la ley establece, explícitamente, la **obligatoriedad** de incluir la Gestión de Riesgos en todos los planes de desarrollo y en los programas de todo el sistema educativo nacional.

Desde la óptica contemporánea de la Gestión de Riesgos y de la misión de las universidades en sus 3 áreas de acción – investigación, docencia y extensión –, buena parte del problema se traduce en el compromiso de capacitar a nuestros futuros profesionales para que sepan como integrar la gestión del riesgo de desastres en su práctica profesional cotidiana, evitando así la construcción de nuevos riesgos y reduciendo nuestras vulnerabilidades. Todo esto aunado a una política de extensión, entendida como la obligación de asesorar y respaldar al Estado y a la comunidad en la materia.

En nuestro caso es bueno recordar que nuestras universidades, en particular la Universidad de los Andes (ULA), la Universidad Central de Venezuela (UCV), Universidad de Carabobo (UC), Universidad de Oriente (UDO) y la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) no han sido ajenas a esta realidad y que, desde hace ya varias décadas, vienen adelantando importantes iniciativas al respecto, dentro y fuera de esas universidades, desmintiendo de paso la acusación reiterada de que nuestras universidades no se ocupan de los problemas del país. Sin embargo, debemos también reconocer que, hasta ahora, muchas de estas iniciativas han sido el producto de esfuerzos personales y no han respondido a una política institucional que garantice su articulación y sostenibilidad a través de un plan que defina acciones concretas en docencia, investigación y extensión. Estas acciones promoverían, a lo interno, la evaluación de la vulnerabilidad de todas sus instalaciones y operaciones, así como la formación de las competencias necesarias para prevenir y mitigar los riesgos de desastre, la incorporación de la gestión de riesgos en los programas docentes y de investigación, la formación de profesionales en esta área del conocimiento y, finalmente, la consolidación y sostenibilidad de los diferentes espacios universitarios que desde hace ya varios decenios vienen ocupándose de la Gestión de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos. A lo externo, contribuirían a mejorar los planes regionales de desarrollo sostenible con medidas efectivas para la reducción del riesgo de desastres.

2. Una responsabilidad compartida y transversal

En esta ocasión quiero hablar de responsabilidades y angustias personales e institucionales frente a los riesgos naturales que nos afectan. Para entender mejor lo que pretendo, comenzaré por referirme a los 4 últimos eventos desastrosos que ocurrieron en Venezuela en los últimos 60 años: El Terremoto de Caracas el 29 de julio de 1967 (M=6.6), El Terremoto de Cariaco el 9 de julio de 1997 (M=6.9), las crecidas torrenciales y flujos de detritos que sepultaron parte del Municipio Vargas en el litoral central en diciembre de 1999 y el Terremoto de la Guaira el 24 de junio de 2026.

En el primero de los casos (1967) el desastre dejó más de 301 muertos (236 muertos registrados), 2000 heridos, 80 mil personas sin vivienda y una pérdida material de 10.465.116 USD en la época. Seis edificios fueron destruidos, 40 edificios fueron declarados no habitables, 180 edificios sufrieron deterioros graves, especialmente en las fachadas, paredes de recubrimientos, frisos, balcones, cornisas y aleros.

En el caso del sismo de Cariaco en 1997 se desplomaron algunos edificios importantes en Cumaná y en Cariaco. En total murieron unas 73 personas, pero solamente en la ciudad de Cariaco perdieron la vida alrededor de unos 35 niños en la escuela Valentín Valiente y el liceo Raimundo Martínez Centeno, edificaciones de concreto armado que sufrieron el colapso de pisos y módulos completos. En el caso de Vargas (1997) las víctimas oscilaron entre unos cuantos cientos hasta decenas de miles según diferentes autores e instituciones.

Finalmente, en el Terremoto de la Guaira el 24 de junio de 2026, la cifra oficial de fallecidos asciende a 6,509 víctimas, desaparecidos: al menos 1,579 personas, confirmadas hasta finales de agosto de 2026, cientos de miles de ciudadanos perdieron sus hogares.

En todas estas circunstancias cabe preguntarse si realmente fueron eventos inesperados, razón por la cual no estábamos preparados, o simplemente ocurrió que irresponsablemente ignoramos lo que la naturaleza y los especialistas nos habían avisado y prevenido en repetidas ocasiones.

En el caso de Cariaco sabemos, desde la llegada de los españoles, que el oriente de Venezuela ha sido reiteradamente afectado por diversos terremotos destructores en 1530, 1684, 1766, 1797, 1853 y 1929, todos ellos bien descritos y, probablemente, asociados a la Falla del Pilar, a la que se hizo responsable de las muertes y demás daños materiales.

En cuanto a Vargas, desde el informe presentado el 15 de febrero de 1798 por Don Juan Nepomuceno de Pedroza, Oidor de la Real Audiencia de Caracas, hasta las observaciones que en 1950 hiciera el Dr. Eduardo Rohl, director para la fecha del Observatorio Cajigal, se han reseñado decenas de crecidas torrenciales como la ocurrida en 1999. En este caso la culpa de las muertes y demás daños se le atribuyó al fenómeno de El Niño, responsable de las intensas lluvias que generaron las súbitas crecidas de las quebradas y consecuentes flujos de detritos.

A manera de ejemplo, analicemos en detalle el problema de la responsabilidad en el caso de los 35 niños muertos en las escuelas colapsadas en Cariaco, que fueron construidas prácticamente encima de la Falla del Pilar. ¿No será que los responsables realmente fueron los arquitectos e ingenieros que diseñaron y calcularon la escuela sin considerar apropiadamente la amenaza sísmica presente en el lugar?, ¿qué tal si la culpa la tuvieron el alcalde y los concejales que permitieron su construcción en una zona de reconocido y bien documentado riesgo sísmico?, ¿o serán responsables los funcionarios de FEDE, encargados de la construcción y mantenimiento de escuelas en el país?, ¿y por qué no culpar al Ministerio de Educación, responsable de planificar todo lo relativo a las instalaciones de instrucción pública?, y ¿el Director y los maestros de esas escuelas no son responsables por ley de garantizar la seguridad de los estudiantes en su plantel?, finalmente, ¿los padres de los niños están libres de culpa por no haberse preocupado de si sus hijos estaban asistiendo a unas instalaciones educativas seguras?

Evidentemente todos en esta cadena comparten la responsabilidad por la muerte de esas 35 criaturas. Siendo así, ¿cómo se cobra esa responsabilidad?, porque estamos hablando no solo de daños materiales sino también y sobre todo de 35 niños muertos. Por si no lo saben, las leyes que regulan estas situaciones, nacional e internacionalmente, tienden cada vez más a precisar sanciones civiles y penales a los sectores institucionales y a los profesionales responsables de permitir y construir riesgos con su práctica institucional o profesional:

> **Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos**
>
> *Artículo 59: Otorgamiento de Permisos Indebidos*
>
> *Todo funcionario público y funcionaria pública que otorgue permisos, licencias, concesiones, autorizaciones u otro tipo de acto administrativo para la construcción de cualquier obra de infraestructura en zonas declaradas de riesgo o contribuya de algún modo a generar situaciones de riesgo o desastre, será sancionado o sancionada con multas de mil unidades tributarias (1.000 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.), sin menoscabo de las demás responsabilidades a que hubiere lugar. Igual sanción corresponderá al funcionario o funcionaria que dictare medidas judiciales que propicien la generación de situaciones de riesgos o desastre.*
>
> *Artículo 60: Construcción Riesgosa*
>
> *Toda persona natural o jurídica de derecho público o privado, que construya o promueva la construcción en zonas declaradas de riesgo, con inobservancia de las variables urbanas y de los planes de desarrollo local; o que promueva la reconstrucción de viviendas destruidas en zonas declaradas de riesgo, será sancionada con la demolición de lo construido y multa de cien Unidades Tributarias (100 U.T) a diez mil Unidades Tributarias (10.000 U.T.), sin menoscabo del establecimiento de otras responsabilidades a que hubiere lugar.*

Preguntados al respecto, seguro estoy que todos los corresponsables señalados aducirán, en su descarga, que ellos ignoraban cuál era su responsabilidad específica en estos casos y, en buena medida, debo reconocer que no es una tarea sencilla. Y es que cuando a una persona o institución se le pregunta cuál es su responsabilidad frente a estas amenazas, en lo que se suele pensar es que ésta se limita a definir medidas preventivas y acciones a tomar para preservar la vida y bienes durante la ocurrencia del evento extraordinario (meterse debajo de una mesa o marco de puerta, el triángulo de la vida, poner afiches de qué hacer antes, durante y después de un terremoto, simulacros de desalojos), y en planificar algunas acciones de colaboración con los organismos que tiene el Estado para atender emergencias y desastres, que suponen son los verdaderos y únicos responsables de atender estas emergencias mayores.

3. Cambio de Paradigma en la Gestión de Riesgos

Hoy se entiende el problema de manera diferente y, particularmente, se aceptan 3 condiciones importantes:

3.1) Los desastres no son castigos divinos ni tampoco naturales, sino más bien construidos por la sociedad y,

sobre todo, por la institucionalidad del Estado, al ubicar y desarrollar los asentamientos humanos y obras de infraestructura en lugares peligrosos, que no respetan las leyes y el comportamiento de la naturaleza, convirtiéndose así en los más importantes constructores de riesgos. Se trata entonces de un problema no resuelto de cómo se planifica e implementa el desarrollo, un desarrollo que, aunque lleve el título de sostenible, no puede serlo mientras no incorpore en sus proposiciones la consideración de los riesgos presentes, la preservación del medio ambiente y del hábitat, y la disminución de la pobreza.

3.2) Los desastres no son inevitables, se pueden evitar a través de medidas que impidan la creación de nuevos riesgos y la corrección de los ya existentes, reduciendo o eliminando las vulnerabilidades (exposición, susceptibilidad, fragilidad) y amenazas que nos hacen propensos a ser afectados por estos eventos.

3.3) La atención y manejo de los desastres es una responsabilidad transversal de todos los integrantes de la sociedad y no solamente de los organismos que tiene el Estado para atenderlos. Conviene por ello que averigüemos cuál es la nuestra, como ciudadanos y profesionales, y la de las instituciones donde trabajamos, y cuáles son las acciones que nos toca realizar como tales.

El compromiso de los órganos del poder ejecutivo y legislativo de los Municipios con estas actividades arranca por conocer, estudiar y familiarizarse con las responsabilidades que la constitución y las leyes le establecen, una de cuyas premisas más importantes es garantizar la seguridad ciudadana en su más amplio sentido, de manera que todo proyecto o plan que se discuta, antes de aprobarlo, debe satisfacer esta exigencia o, por lo menos no empeorarla. No se puede suscribir una proposición, cualquiera que ella sea, sin garantizar que cumple con las leyes vigentes porque, al hacerlo, adquirimos responsabilidades, muchas de las cuales no prescriben, y que no se pueden eludir alegando que se ignoraban causas y consecuencias.

En el caso que nos ocupa —la Gestión de Riesgos— hay que informarse apropiadamente de la naturaleza de esta gestión y de los principales conceptos que la definen: amenaza, exposición, vulnerabilidad, riesgo, resiliencia, gestión de emergencias, gestión de desastres, gestión de riesgos, escenarios de riesgo, por mencionar algunas de las variables involucradas. Esta última acotación es importante para asegurarse de que más allá de un título, la materia que se trate realmente se corresponda con lo que dicho título pretende. Cuándo nos hablan de un proyecto sostenible, adjetivo tan de moda en estos días, ¿qué nos garantiza que realmente será sostenible? O cuándo adquirimos una ambulancia para el traslado de heridos y lesionados y dedicamos tiempo y recursos para esta actividad, ¿estamos realmente haciendo gestión de riesgos? Para ello es importante que incorporen especialistas capacitados para entender y aplicar **profesionalmente** los conocimientos que estas responsabilidades exigen.

Otro ejemplo: la Ley de Gestión de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos estipula que todo proyecto de nuevos desarrollos debe incluir la consideración de los riesgos existentes en la región, de manera de no contribuir a aumentarlos y, en la medida de las posibilidades, corregir los presentes. También estipula que los funcionarios responsables de instalaciones públicas y privadas tienen la obligación de implementar acciones que garanticen la seguridad de los que laboran en esos espacios, así como la de sus visitantes, frente a las amenazas socionaturales reconocidas en la región de residencia. ¿Lo estamos haciendo realmente?, ¿Sabemos en qué consisten estas consideraciones y estudios, y qué profesionales tienen la competencia para hacerlos de manera de garantizar que realmente se esté entregando lo correcto y no cumpliendo a la carrera y de cualquier manera con ese requisito?

Todas estas acciones que debe hacer una Alcaldía son el eje de lo que solemos denominar Plan de Gestión Municipal de Riesgos, donde el término 'local', en nuestro caso, se refiere al espacio geográfico del municipio considerado. La mala noticia es que el trabajo a realizar es abrumador y costoso, pero la buena noticia es que el país cuenta con algunos de los especialistas más calificados de Suramérica, con el conocimiento actualizado y la experiencia necesaria para abordar estos problemas, y ésta es la parte más difícil de la solución. Sabemos qué y cómo debe hacerse y, de hecho, ya hemos adelantado una buena parte del trabajo en el caso de algunos municipios en el país.

4. Estructura de un Plan de Gestión Local de Riesgos

Un Plan de Gestión Local de Riesgos, debe incluir 5 partes esenciales:

1) **Diagnóstico Profesional:** Para identificar, caracterizar y jerarquizar las amenazas, nivel de exposición, vulnerabilidades y riesgos locales más significativos.

2) **Medidas Correctivas:** Diseño e implementación de acciones que eliminen o, por lo menos reduzcan, drásticamente, los riesgos existentes.

3) **Medidas Prospectivas:** Diseño e implementación de acciones que prevengan la construcción de nuevos riesgos.

4) **Medidas Reactivas:** Planificar acciones que debemos adelantar para enfrentar con éxito eventos mayores, producto de las amenazas consideradas, con Planes de Emergencia y Desalojo, simulacros, cursos primeros auxilios, rescate y traslado de heridos y lesionados, manejo de albergues de emergencia. A partir del diagnóstico y de los daños esperados adelantar talleres que permitan hacer una evaluación rápida de daños y análisis de necesidades (EDAN) post desastre e instruir sobre su uso.

5) **Plan de Rehabilitación:** Para reestablecer, inmediatamente después del desastre, las líneas vitales y demás servicios públicos, así como las edificaciones esenciales.

4.1. Un diagnóstico profesional (hecho por especialistas)

a) Información Cartográfica y Recursos: Ubicar y adquirir la información histórica y cartográfica sobre el Municipio en formato digital, así como el espacio, software, hardware y conectividad necesarios para operarla. Inventariar recursos materiales y humanos necesarios y disponibles para atender emergencias.

b) Caracterización de Amenazas: Determinar las amenazas más significativas (fenómenos hidroclimáticos extremos, movimientos de masa, terremotos y amenazas tecnológicas). Incluye estimación de probabilidades de excedencia de valores tolerables máximos de intensidad en ventanas de tiempo futuro (25, 50, 100 años) y microzonificación sísmica para evitar fenómenos de resonancia y efectos de sitio en construcciones de viviendas. Debe ser realizada por geofísicos, geomorfólogos, climatólogos o ingenieros hidráulicos, civiles, estructuralistas, geotécnicos.

c) Evaluación de Vulnerabilidad Física y Social: Estimar la vulnerabilidad (¿fragilidad?) de líneas vitales, edificaciones esenciales, educativas, patrimoniales, religiosas, de salud, vialidad y viviendas. Las Alcaldías deben evaluar sus propias instalaciones con apoyo de, ingenieros civiles estructurales especializados en sismorresistencia, sociólogos (vulnerabilidad socioeconómica).

> **Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos**
>
> *Artículo 26: Reducción de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos en Edificaciones Pública*
>
> *En toda edificación en la que funcionen dependencias o servicios públicos se deberán desarrollar esfuerzos para caracterizar y mitigar sus respectivos niveles de amenaza y vulnerabilidad.* ***Será responsabilidad de las instituciones a cargo de cada uno de estos espacios, coordinar e instrumentar las acciones requeridas****.*

d) Susceptibilidad a Movimientos de Masa: Estimar y zonificar la susceptibilidad de los terrenos donde existen o se construirán obras civiles. Tarea a cargo de geólogos, geomorfólogos, geofísicos e ingenieros geotécnicos.

e) Formatos Prácticos y Accesibles: Traducir los productos profesionales del diagnóstico a formatos comprensibles por el sector político, público, privado y tomadores de decisiones. Incorporar mapas en PDF de alta resolución con semaforización (3 colores) para normar ordenanzas municipales de ocupación y uso del suelo.

f) Vulnerabilidad Operativa e Institucional: Planes de Contingencia que garanticen la continuidad operativa post-desastre de hospitales, centros de mando, bomberos, depósitos de insumos vitales, líneas de vida.

g) Vulnerabilidad Socio-económica: Valorar la capacidad de recuperación comunitaria, percepción de riesgos y experiencias previas.

h) Zonificación de Elementos Expuestos: Mapear densidad poblacional, líneas vitales, edificaciones e infraestructura.

i) Escenarios de Riesgo y Estimación de Daños: Elaboración de mapas multiamenazas y estimación matemática del riesgo como la probabilidad de daño en función de la amenaza, vulnerabilidad y exposición.

4.2. Diseño e implementación de Medidas Prospectivas

Estas acciones pretenden evitar la construcción de nuevos riesgos mediante:

a) Ordenamiento Territorial: Planes de ocupación del suelo basados en los planes de desarrollo sostenible y resiliente, la microzonificación sísmica, geotécnica, los escenarios de riesgo, conservación de la vivienda y del hábitat, vulnerabilidad social asociada.

b) Marco Jurídico Municipal: Ordenanzas que obliguen a la evaluación de riesgos en todo nuevo proyecto público o privado y que establezcan sanciones a los infractores.

c) Programas Educativos: Formación de profesionales y técnicos en el área, cursos cortos de diplomados y maestrías en Gestión de Riesgos, Capacitación a comunidades e instituciones para la prevención y manejo de emergencias y desastres. Incorporación de la GR en los planes educativos de la escolaridad básica y del bachillerato. Evaluación de las instituciones educativas, prácticas de desalojo de emergencia.

4.3. Diseño e implementación de Medidas Correctivas

Dirigidas a corregir o mitigar las vulnerabilidades y amenazas existentes:

a) Obras Civiles de Mitigación: Reforzamiento estructural túneles y puentes, estabilización de taludes, canalización de cauces y reforestación. La Alcaldía debe comenzar por sus propios inmuebles.

b) Adecuación Normativa: Obligar a propietarios e instituciones a evaluar y corregir vulnerabilidades en inmuebles existentes.

c) Capacitación Técnica: Adiestramiento para la ejecución de obras de mitigación a nivel comunitario e institucional.

4.4. Diseño e implementación de Medidas Reactivas

Preparación para enfrentar eventos mayores:

a) Plan EDAN en Municipios y Parroquias: Procedimientos para la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades. Entrenamiento de alcaldes y prefectos. Estudiar el acceso inmediato de estas evaluaciones en las salas situacionales.

b) Sala Situacional Municipal y Parroquial: Dotación y coordinación con Protección Civil, Bomberos y Ejército.

c) Planes de Emergencia Municipal, Parroquiales, Comunitarios y Familiares: Protocolos operativos. Buscar ejemplos en Internet.

d) Redes y Planes de Apoyo: Coordinación hospitalaria, rescate, triaje, albergues y suministros de emergencia.

e) Sistemas de Alerta Temprana: Instalación para crecidas torrenciales y movimientos de masa.

f) Fondo Especial de Emergencia: Asignación presupuestaria permanente.

g) Aseguramiento de Bienes: Pólizas contra terremotos y otras amenazas para bienes municipales, acompañadas de simulacros periódicos.

5. Consideraciones Presupuestarias y Recursos Tecnológicos

Entendemos las enormes dificultades económicas por las que suelen atravesar las alcaldías, pero a pesar de esta estrechez, ellas tienen que garantizar una plataforma y recursos mínimos para poder abordar y materializar las tareas que la Gestión de Riesgos requiere.

> **Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos**
>
> *Artículo 45: Presupuesto*
>
> *Todos los órganos y entes del Estado deben incluir en su previsión presupuestaria recursos para la formulación y ejecución de proyectos y actividades dirigidas a dar cumplimiento a la política nacional de gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos, de conformidad con lo establecido en la presente Ley.*

Particular importancia tiene un buen catastro digital, una red básica de computadoras y sistemas informáticos con una conexión a Internet satelital segura, una sala situacional con recursos humanos y materiales (cartografía digital de alta resolución para manejar sistemas de información geográficos (SIG) y personal capacitado para entender, realizar y manejar planes de ordenación territorial, de desarrollo urbano y, en general, planes de desarrollo sostenibles y resilientes. Las acciones a implementar deben simularse unas 2 veces al año.

Las proposiciones son ambiciosas, pero debemos aprender a planificar para el futuro, resolviendo de paso los problemas actuales. Si otros lo han logrado ¿por qué no nos atrevemos a hacerlo mejor? Al respecto sugiero revisar lo que logró Manizales en el último gran terremoto de Colombia a partir de las proposiciones adelantadas y coordinadas por el Ing. Omar Darío Cardona (Cardona, 2019), miembro fundador de La Red de Estudios Sociales sobre Prevención de Desastres.

REFERENCIAS

Cardona, O. D. (2019). Gestión del riesgo y adaptación en Manizales: Una estrategia de desarrollo para lograr que una ciudad en transición sea resiliente, sostenible y competitiva. *Medio Ambiente y Urbanización*, (90-91 Especial), 127–168.

Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos. (2009). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N.º 39.095, 9 de enero de 2009.*

Maskrey, A. (Comp.). (1993). *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/

.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 440 –449
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/188

REDISEÑO URBANO Y CONTINUIDAD DE OPERACIONES POST-SISMO EN EL EJE CARACAS - LA GUAIRA: UN MODELO DE PROSPECTIVA TERRITORIAL BASADO EN EL CONTROL DE INTANGIBLES Y SINTONIZACIÓN NEUROFISIOLÓGICA

Luis Gilberto CARABALLO[1]

RESUMEN

El doble evento telúrico registrado el 24 de junio de 2026 en el eje geológico San Felipe - Yumare - Caracas (magnitudes críticas de 7.2 y 7.5 Mw) expone de forma definitiva las limitaciones sistémicas de los modelos de control técnico tradicionales de carácter lineal. Ante un escenario donde la infraestructura urbana se encuentra fracturada en nodos de alta densidad como Altamira y Los Ruices, los sistemas de procesamiento de datos y los modelos algorítmicos puramente institucionales fallan estructuralmente al intentar procesar la crisis bajo una lógica estrictamente mecanicista y predictiva. Esta simplificación metodológica reduce la respuesta a un cálculo de variables físicas y volumétricas, ignorando un factor crítico que determina la viabilidad de cualquier plan de recuperación: el capital conductual y el estado de shock pasivo, pánico crónico e impotencia en el que se encuentra la población civil y la fuerza laboral.

Para superar la parálisis cognitiva e institucional derivada del desastre, el Diseño de Futuros Atemporales actúa como un marco analítico y operativo complementario de alta fidelidad, que no pretende sustituir los diagnósticos estructurales de la ingeniería civil dura o de la sismología tradicional, sino integrarse a ellos. El dogma convencional de la "reconstrucción lineal" —entendido como la inercia técnico-política de levantar exactamente las mismas tipologías de edificación e infraestructura sobre fallas geológicas activas, limitándose a rigidizar los materiales constructivos— resulta financieramente inviable, biológicamente hostil y estratégicamente estéril si no se estabiliza de forma simultánea la dimensión psíquica, orgánica y relacional de los habitantes del territorio. En consecuencia, se propone un enfoque estratégico estructurado en tres fases secuenciales e interdependientes, fundamentado en tecnologías de optimización humana de validez universal (estructuras cognitivas y matrices de comportamiento colectivo) y en protocolos de sintonización neurofisiológica. El objetivo central es transformar la disrupción del sismo en un catalizador de ingeniería social aplicada, logrando sanar la fractura operativa entre el aparato institucional, el capital humano y la geografía del territorio.

ABSTRACT

Urban redesign and post-earthquake business continuity in the Caracas–La Guaira corridor:
A territorial foresight model based on intangible asset control and neurophysiological attunement

The double seismic event registered on June 24, 2026, along the San Felipe - Yumare - Caracas geological axis—with critical magnitudes of 7.2 and 7.5 Mw—definitively exposes the systemic limitations of traditional, linear technical control models. Faced with a scenario where urban infrastructure is fractured across high-density nodes such as Altamira and Los Ruices, purely institutional data processing systems and algorithmic models fail structurally when attempting to process the crisis under a strictly mechanistic and predictive logic. This methodological simplification reduces the emergency response to a mere calculation of physical and volumetric variables, completely ignoring a critical factor that determines the viability of any recovery plan: behavioral capital and the state of passive shock, chronic panic, and helplessness experienced by both the civilian population and the workforce.

To overcome the cognitive and institutional paralysis derived from the disaster, the Design of Timeless Futures acts as a high-fidelity, complementary analytical and operational framework. It does not intend to underestimate or substitute the structural diagnoses of hard civil engineering or traditional seismology, but rather to integrate with them. The conventional dogma of "linear reconstruction"—understood as the technical-political inertia of erecting identical building typologies and infrastructure directly over active geological faults, limiting the intervention to rigidifying construction materials—proves to be financially unviable, biologically hostile, and strategically sterile if the psychic, organic, and relational dimensions of the territory's inhabitants are not stabilized simultaneously.

Consequently, this paper proposes a strategic approach structured into three sequential and interdependent phases, grounded in universally valid human optimization technologies (cognitive structures and collective behavior matrices) and neurophysiological tuning protocols. The central objective is to transform the earthquake's disruption into a catalyst for applied social engineering, successfully healing the operational fracture between the institutional apparatus, human capital, and the geography of the territory.

Palabras clave: Prospectiva territorial, control de intangibles, sintonización neurofisiológica, arquitectura deformable, gestión del riesgo conductual, gobernanza autónoma.
Keywords: Territorial prospective, control of intangibles, neurophysiological tuning, deformable architecture, behavioral risk management, autonomous governance.

[1] Ingeniero en Computación. Correo: lgcaraballo@gmail.com

1. Introducción y Justificación Institucional

El doble evento telúrico registrado el 24 de junio de 2026 en el eje geológico San Felipe - Yumare - Caracas —con magnitudes críticas de 7.2 y 7.5 Mw y una secuencia continua de réplicas de alta intensidad— ha expuesto de forma definitiva las limitaciones sistémicas de los modelos de control técnico tradicionales de carácter lineal. Ante un escenario donde la infraestructura urbana se encuentra fracturada en nodos de alta densidad como Altamira y Los Ruices, los sistemas de procesamiento de datos y los modelos algorítmicos puramente institucionales fallan estructuralmente al intentar procesar la crisis bajo una lógica estrictamente mecanicista y predictiva. Esta simplificación metodológica reduce la respuesta a un cálculo de variables físicas y volumétricas, ignorando un factor crítico que determina la viabilidad de cualquier plan de recuperación: el capital conductual y el estado de shock pasivo, pánico crónico e impotencia en el que se encuentra la población civil y la fuerza laboral.

Para superar la parálisis cognitiva e institucional derivada del desastre, el Diseño de Futuros Atemporales no pretende subestimar ni sustituir los diagnósticos estructurales de la ingeniería civil dura o de la sismología tradicional, sino actuar como un marco analítico y operativo complementario de alta fidelidad. El dogma convencional de la "reconstrucción lineal" —entendido como la inercia técnico-política de levantar exactamente las mismas tipologías de edificación e infraestructura sobre fallas geológicas activas, limitándose a rigidizar los materiales constructivos— resulta financieramente inviable, biológicamente hostil y estratégicamente estéril si no se estabiliza de forma simultánea la dimensión psíquica, orgánica y relacional de los habitantes del territorio.

En consecuencia, se propone un enfoque estratégico estructurado en tres fases secuenciales e interdependientes, fundamentado en tecnologías de optimización humana de validez universal (estructuras cognitivas y matrices de comportamiento colectivo) y en protocolos de sincronización neurofisiológica. El objetivo central es transformar la disrupción del sismo en un catalizador de ingeniería social aplicada, logrando sanar la fractura operativa entre el aparato institucional, el capital humano y la geografía del territorio.

2. Fase 1: Diagnóstico de Impacto Humano y Gestión de la Incertidumbre Crítica

(Protocolo de Auditoría de Campo y Análisis del Observador Interno)

2.1. Marco Metodológico del Comportamiento Organizacional: Evaluación de Entornos de Alta Volatilidad y Gestión del Riesgo Conductual

Matriz Conceptual de Soporte (Psicología Social y Arquetípica): Análisis del comportamiento colectivo bajo condiciones de desorden sistémico (*El Caos Primordial / Abzu*) y adopción del rol del Auditor del Entorno (*El Observador Interno / Chamán*).

Mecanismo de Optimización Operativa: Implementación de un Sistema Integrado de Captación de Señales Débiles y Microtensiones Socioconductuales.

2.2. El Diagnóstico de Vulnerabilidad Inmaterial del Territorio

Desde la perspectiva de la planificación compleja, el sismo por desgarre (originado por la fricción horizontal activa entre la placa del Caribe y la Sudamericana) representa la liberación macroenergética de un territorio geológico cuyos ritmos y variables orgánicas han sido sistemáticamente ignorados por un urbanismo rígido y centralizado. Mientras las comisiones técnicas gubernamentales concentran de forma exclusiva sus capacidades en medir la propagación de ondas vectoriales y la aceleración del suelo, el protocolo del Observador Interno realiza un levantamiento sistemático de las fracturas relacionales, psicológicas y emocionales de la estructura social.

La desocupación forzosa de las torres financieras y corporativas en el eje Chacao - Altamira no solo visibiliza la vulnerabilidad de la infraestructura física, sino el colapso latente del modelo de gestión de riesgos tradicional, el cual asumió el control técnico absoluto sobre el territorio sin integrar la memoria y las restricciones de la geografía local. Esta fase de diagnóstico inmersivo actúa como una auditoría de riesgos intangibles, identificando y decodificando las microtensiones comunitarias para proveer a las agencias de Protección Civil una cartografía de viabilidad humana, permitiendo intervenir proactivamente antes de que el trauma derive en dinámicas de anomia social o ingobernabilidad urbana.

2.3. Reconfiguración Métrica y Protocolos de Nombramiento Operativo

Variable de Diseño Sónico: Mutación métrica de la declamación lingüística hacia frecuencias densas y de prosodia grave (*Protocolo de Lengua Madre / Sumerio Antiguo*).

Mecanismo de Gestión Organizacional: Transición de indicadores de control rígidos a Protocolos Fundacionales de Redefinición Estratégica.

En un escenario post-desastre donde los manuales de procedimientos corporativos y los marcos normativos del Estado quedan obsoletos de forma inmediata, la alta gerencia requiere una herramienta ágil para reconfigurar la cadena de mando y el sentido de urgencia. La transición hacia frecuencias de prosodia regularizada y densa no constituye una intervención estética o aislada; opera como un dispositivo de salud ocupacional y neurobiología aplicada para deponer temporalmente el sesgo del ego verbal del neocórtex y mitigar la producción de cortisol en los equipos de toma de decisiones.

Al limpiar el ruido comunicacional y el pánico del cerebro reptiliano, este mecanismo activa el "acto de nombrar" como un proceso de diseño fundacional: la capacidad técnica y gerencial de redefinir objetivos estratégicos desde cero sobre el terreno, unificando el vocabulario de ingenieros, rescatistas y

administradores bajo un mismo canal de emergencia coherente, coordinado y blindado contra la saturación cognitiva de los entornos digitales.

3. Fase 2: Prospectiva Estratégica

(Configuración del Escenario de Continuidad de Operaciones y Rediseño Urbano)

3.1. Marco Metodológico de la Planificación de Escenarios:

Modelado de Estructuras Flexibles y Sostenibilidad Sistémica

Matriz Conceptual de Soporte (Psicología Social y Arquetípica): Diseño de resiliencia cíclica (*El Eterno Retorno / Ouroboros*) y adopción del rol del Arquitecto de Escenarios Complejos (*El Diseñador Estructural / Demiurgo*).

Mecanismo de Optimización Operativa: Co-construcción y modelado del Escenario de Mayor Posibilidad de Recuperación Sistémica.

3.2. Definición del Escenario Deseable: "Caracas Resonante"

A través del establecimiento de mesas técnicas de planificación territorial y comisiones de urbanismo coordinadas, se desplaza el viejo paradigma del desarrollo urbano enfocado en la prioridad del automóvil, la concentración demográfica vertical y las torres de cristal tradicionales. El nuevo eje de ordenamiento territorial sitúa en el centro neurálgico del diseño al Waraira Repano (El Ávila) y decreta la preservación absoluta, restrictiva e inalterable de sus cuencas hídricas, utilizándolas como corredores naturales de evacuación, amortiguación ambiental y ejes de conectividad segura.

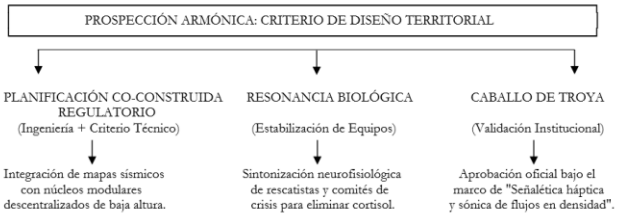
3.3. Criterios de Diseño Constructivo e Infraestructura Deformable

El modelo dota a los ingenieros y comisiones técnicas de un nuevo criterio constructivo de vanguardia: la transición urbana definitiva hacia estructuras modulares de baja altura y carácter dinámico. Se rompe con el principio mecanicista tradicional de intentar resistir el movimiento telúrico mediante la fuerza de materiales rígidos (los cuales colapsan por fatiga estructural ante sismos de gran magnitud); en su lugar, se adoptan los principios de flexibilidad y elasticidad biomimética (imitando el comportamiento estructural de las juntas del bambú o las cañas). Se proyectan espacios capaces de absorber, disipar y distribuir la energía telúrica en frecuencias armónicas, permitiendo que la infraestructura conviva de forma segura con la falla sísmica activa en lugar de desafiarla de manera estéril e insostenible.

4. Viabilidad Práctica y Criterio de Prospección Co-Construido (Parámetro Técnico 432 Hz)

Plantear la reconstrucción inmediata de macroinfraestructuras físicas centralizadas o plantas de alta ingeniería en un entorno geológico colapsado e inestable resulta técnica y financieramente inviable. Por lo tanto, la viabilidad práctica de este modelo no radica en sustituir las obras civiles indispensables ni el riguroso cálculo de la ingeniería estructural, sino en adoptar la frecuencia matemática de 432 Hz y las proporciones geométricas universales como principios puros de ordenación territorial, diseño urbano y gestión del comportamiento colectivo.

Este parámetro unificado funciona como el puente de alineación para los equipos multidisciplinarios humanos que respaldarán el plan de prospectiva regional, utilizando el sonido y la microacústica infinitesimal como la primera geometría aplicada para sincronizar la geografía, la biología de la población y la psique colectiva a través de la resolución de tres retos institucionales:



4.1. El Reto de la Planificación Urbana Unificada (Gobernanza Descentralizada)

El Problema Operativo: El colapso total de la infraestructura de telecomunicaciones e infraestructura centralizada impide el flujo efectivo de información vertical. Si los equipos de ingenieros y los planificadores del Estado operan bajo enfoques sectorizados o puramente mecanicistas, se corre el riesgo de diseñar zonas de refugio y campamentos de tránsito rígidos que terminen resultando hostiles, estresantes y catalizadores de conflictos para la población civil.

La Solución Gerencial: La frecuencia de 432 Hz se aplica como un criterio matemático de zonificación de impacto que complementa de forma exacta los mapas de microzonificación sísmica elaborados por los geólogos. En lugar de macroestructuras propensas al fallo sistémico, los equipos técnicos humanos proyectan el territorio a través de núcleos modulares descentralizados de baja altura. La distribución del espacio sigue proporciones de geometría armónica que respetan rigurosamente tanto las fallas geológicas identificadas como los flujos de evacuación naturales de la topografía de Caracas.

4.2. El Reto Biológico y la Sincronización de Equipos Técnicos (Gestión del Estrés de Emergencia)

El Problema Operativo: El pánico colectivo ante el desgarre geológico activa de forma inmediata la respuesta de

huida del cerebro reptiliano, anulando los procesos de racionalidad cognitiva y pensamiento sistémico. Este fenómeno no solo afecta a las comunidades, sino que introduce un alto nivel de sesgo de urgencia, fatiga y estrés agudo en los equipos humanos de rescatistas, ingenieros y expertos encargados de tomar decisiones de alta responsabilidad sobre el terreno.

La Solución Gerencial: La frecuencia de 432 Hz, integrada de forma sistemática en la producción cultural de emergencia, en los centros de mando institucionales y en las estaciones de planificación comunitaria, funciona como un interruptor biológico homeostático. El estímulo auditivo armónico sincroniza y estabiliza los ritmos cardíacos y respiratorios de los equipos en segundos, disminuyendo la producción de neurotransmisores de estrés. Al alinearse con los ritmos circadianos, la frecuencia estabiliza la psique de los comités de expertos, permitiendo que la toma de decisiones técnicas y la inducción de flujos de evacuación transiten del caos reactivo hacia un proceso fluido, colaborativo, consciente y de alta precisión operativa.

4.3. El Reto Institucional y la Validación de los Expertos (Aprobación Técnico-Legal)

El Problema Operativo: Los ingenieros sismológicos, las agencias de regulación del Estado y los comités técnicos tradicionales basan sus protocolos estrictamente en normativas cuantitativas rígidas. Por lo tanto, rechazan de forma inmediata e irreversible cualquier plan prospectivo que se presente bajo terminología mística, antropológica o mitológica, calificándolo de inviable o esotérico.

La Solución Gerencial: Se ejecuta una estrategia de Alineación Normativa Técnico-Legal y Corporativa (*El Conductor de Innovación / Trickster*). Los principios de sintonía neurofisiológica y diseño armónico a 432 Hz no se exponen ante la junta directiva ni ante los ministerios como postulados filosóficos o alternativos; se traducen estrictamente al lenguaje formal de la ingeniería de seguridad, la salud ocupacional y el urbanismo preventivo. La propuesta de implantación territorial se introduce formalmente en los manuales de planificación de Protección Civil, comisiones de urbanismo y ordenanzas municipales bajo el marco conceptual riguroso y auditable de: *"Mecanismos de señalética háptica y sónica para la gestión, mitigación e inducción de flujos humanos en entornos de alta densidad"*.

5. Capítulo Metodológico: Protocolos Bioacústicos y Lingüísticos Aplicados a la Continuidad de Operaciones

5.1. Fundamentación Epistemológica y Enfoque de Sistemas Complejos

La Planificación Prospectiva contemporánea establece que los escenarios futuros no son proyecciones estáticas, sino procesos dinámicos co-construidos mediante la interacción entre percepción cualitativa, análisis riguroso y acción adaptativa. En este marco metodológico, el diseño bioacústico y los patrones de comunicación regularizados actúan como herramientas de optimización del factor humano, diseñados para inducir estados de alta concentración que complementan los métodos de ingeniería y planificación convencionales.

Atenuación de Ruido Cognitivo (Frecuencia Matemática 432 Hz): Parámetro de calibración que genera coherencia socio-fisiológica, reduciendo la producción de hormonas de estrés y estabilizando la capacidad analítica en entornos de crisis.

Protocolos Lingüísticos de Estabilización (Modelos de Comunicación Estructurada): El uso de patrones prosódicos de baja frecuencia (arameo, sumerio y sánscrito) introduce cadencias lentas y fonéticas estables que suspenden el sesgo de urgencia del entorno.

Pensamiento Complejo Gerencial: Mecanismo analítico que integra los activos culturales/intangibles con las métricas cuantitativas en un único ciclo de gobernanza.

5.2. Flujo Metodológico de Doble Aislamiento (Ciclo Operativo Integrado)

El modelo se estructura en un proceso de tres fases operacionales, enmarcando las herramientas cuantitativas tradicionales dentro de protocolos de protección cognitiva:

FLUJO METODOLÓGICO INTEGRADO

Fase I: Aislamiento Digital Estratégico ⟶ Captura de señales débiles (Atenuación de cortisol)
Fase II: Modelado Tecnológico Fáctico ⟶ Aplicación de IGCA, MEYEP, MESAT y MAPER
Fase III: Validación Fenomenológica ⟶ Evaluación de viabilidad humana (Backcasting)

1. **Fase de Aislamiento I — Percepción y Detección de Variables Ocultas:** Desconexión digital controlada e inmersión en frecuencias de estabilización bioacústica. Funciona como un sensor de entrada para neutralizar el pánico y limpiar el ruido informativo de las pantallas. *Equivalente gerencial:* Exploración profunda de señales débiles en la planificación prospectiva.
2. **Fase Tecnológica — Construcción de Escenarios y Métricas Defendibles:** Vaciado de datos de campo y procesamiento analítico. Consiste en la aplicación cruzada de los modelos registrados de la Caja de Herramientas: Índice IGCA (tasación de activos intangibles), MEYEP (análisis estructural de escenarios), MESAT (sistemas de alerta temprana) y MAPER (análisis de conducta de actores). *Equivalente gerencial:* Fase de estructuración estratégica y simulación cuantitativa de riesgos.
3. **Fase de Aislamiento II — Validación Reflexiva y Sello de Viabilidad Humana:** Retorno al protocolo de sintonización analógica para evaluar la coherencia de los planes propuestos, libre de la interferencia algorítmica de los dispositivos digitales. *Equivalente gerencial:* Fase de *backcasting* (diseño retrospectivo), orientada a garantizar que el diseño técnico se traduzca en una realidad ejecutable por el personal y la comunidad.

5.3. Fase III: Diseño e Implantación Operativa (Gobernanza Territorial Autónoma)

Marcos de Innovación Disruptiva: Adopción del principio de Rediseño Organizacional (*El Proceso de Reconfiguración Global*) mediante el uso de Agentes de Innovación y Hackeo Institucional (*Prometeo / Trickster*).

Despliegue del Plan de Acción:

Traducción Regulatoria: Incorporación de los criterios de diseño bioacústico en manuales técnicos de ingeniería y normativas de desarrollo urbano.

Movilización de Capital Humano: Uso de matrices de comunicación y liderazgos arquetípicos para coordinar comités locales de emergencia.

Sustentabilidad Simbólica: Producción de referencias culturales, hitos y señaléticas que validen la permanencia y adaptabilidad del nuevo modelo urbano.

Retorno de Inversión Esperado (ROI): La crisis deja de operar como un factor de parálisis financiera e institucional y se convierte en un dinamizador de la reconstrucción orgánica. El capital humano transita del shock reactivo a una gobernanza descentralizada de alta resiliencia.

5.4. Instrumentos Operativos de Gestión

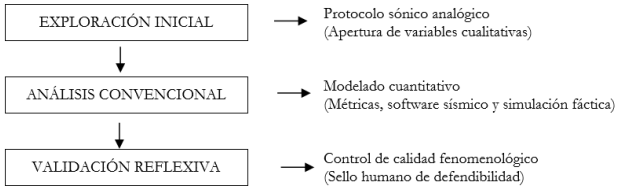
Protocolo Sumerio: Mecanismo de redefinición de términos operativos y refundación de estructuras organizativas.

Protocolos Arameo y Sánscrito: Modelos de comunicación regularizada diseñados para reducir los niveles de estrés y maximizar la coherencia interna en los centros de mando.

Frecuencia 432 Hz: Indicador métrico de salud ocupacional para la estabilización neurofisiológica colectiva.

Marcos de Acción Arquetípicos (Auditor, Diseñador y Conductor de Innovación): Modelos mentales de referencia para guiar la toma de decisiones críticas.

5.5. Modelo de Aplicación en Planificación Prospectiva



5.6. Objetivos de Retorno e Impacto Institucional

Defendibilidad Técnica: Consolidación de un marco metodológico híbrido (cualitativo-fenomenológico + cuantitativo-analítico) con validez ante comités científicos de auditoría.

Legitimidad Institucional: Inserción formal de los protocolos dentro de la planificación de Protección Civil bajo la figura técnica de "Mecanismos de Inducción Perceptiva y Gestión de Comportamiento Colectivo".

Innovación Metodológica de Vanguardia: Posicionamiento de la organización a la vanguardia de los estudios del futuro, superando la dependencia exclusiva de la IA lineal e incorporando las tecnologías de gestión del factor humano.

6. Matriz de Acoplamiento Fonético-Frecuencial (432 Hz) y Aplicación en Prospectiva Territorial

Protocolo Comunicacional	Características de Entrada	Métrica y Prosodia Operativa	Impacto Neurofisiológico Comprobado	Aplicación Estratégica en Planificación
Arameo	Variantes guturales y estructuras de fonación abierta.	Ritmo pausado, cadencia de frecuencia descendente de uso protocolar.	Estimula la vibración torácica y regula la capacidad respiratoria; estabiliza el campo acústico basal.	**Mitigación del Estrés Crítico:** Inducción de calma colectiva y apertura perceptual en fases inmediatas post-desastre (Fase 1: Contención del Shock).
Sumerio	Sílabas de alta densidad y fonética grave de carácter circular.	Estructura de narrativa abierta basada en registros históricos estables.	Se acopla a rangos de frecuencia graves; suspende el sentido del tiempo lineal en los operadores de crisis.	**Refundación Organizacional:** Herramienta de intervención para transformar el caos en territorio resuelto mediante la asignación de nuevos objetivos (Fase 3: Implantación).
Sánscrito	Componentes vocales altamente resonantes y de proyección clara.	Patrones rítmicos repetitivos diseñados para la sincronización respiratoria.	Maximiza la cualidad de atención concentrada y la homeostasis del organismo.	**Validación Libre de Sesgos:** Reducción de la competencia interna en mesas técnicas complejas; optimización del pensamiento holístico (Fase 2: Escenarios / MEYEP).

Análisis Metodológico de la Matriz:

Sincronización Mecánica Obligatoria: Los marcos de comunicación ancestrales comparten prosodias lentas y graves que se alinean de forma natural con los ritmos biológicos planetarios. Esta calibración no constituye un elemento estético; representa un protocolo operativo riguroso de seguridad ocupacional que sincroniza el ritmo cardíaco, la capacidad de oxigenación y la respuesta neuronal de los comités de planificación.

Especialización Funcional Directiva: Cada modelo comunicacional aporta un valor de control exacto: el arameo regula el sistema nervioso autónomo; el sumerio establece las bases operativas de la nueva realidad mediante el acto de nombrar; y el sánscrito valida la cohesión del equipo y el análisis sistémico.

Evidencias de la Continuidad de Operaciones: La matriz demuestra que los sistemas de comunicación analógicos y la acústica infinitesimal funcionan como dispositivos de emergencia social. Al unificarse, desactivan el sobreestímulo de los entornos digitales hiperconectados, devolviendo la soberanía cognitiva al territorio en crisis.

7. Ampliación Metodológica: La "Máquina Mítica" como Dispositivo de Contabilidad Anticipatoria e Interacción Sistémica

El análisis transdisciplinario de este modelo revela una convergencia estructural entre la Planificación Prospectiva y la Antropología del Desastre. Específicamente, se realiza un cruce dialógico entre el corpus de la Contabilidad Global de los Intangibles (Caraballo, 2015) y las investigaciones de Emanuele Amodio (2002, 2005, 2006) sobre la vulnerabilidad y la gestión del saber en el eje Caracas - Litoral Central. De esta articulación emergen tres categorías analíticas fundamentales que integran el rigor técnico con el factor humano:

7.1. El Desmantelamiento del Reduccionismo Técnico mediante el Índice IGCA

Amodio (2005), en sus estudios sobre culturas locales y desastres, señala que el error histórico del estamento institucional e ingenieril en América Latina ante catástrofes —como el deslave de Vargas de 1999— radica en subvalorar la vivencia psicológica y el saber del "observador interno" (el habitante del territorio). Las agencias tradicionales aíslan el desastre reduciéndolo de forma exclusiva a variables físicas euclidianas y estructurales.

Esta fractura epistemológica encuentra su resolución al integrar la Contabilidad Global de los Intangibles. En situaciones de caos fractal post-sismo, los modelos económicos mecanicistas colapsan al medir únicamente activos materiales destruidos. Este modelo permite a los equipos humanos de planificación inventariar, tasar y activar el capital intangible latente: la resiliencia comunitaria, el saber tradicional y la coherencia biológica colectiva. El Índice IGCA se erige así en el mecanismo formal para auditar la salud sistémica del territorio frente al desgarre geológico, unificando la métrica cuantitativa con la cualitativa.

7.2. Los "Juegos de Lenguaje" y las Preguntas Ciegas como Interfaz del Observador Interno

En sus investigaciones sobre la producción y transmisión del saber, Amodio (2006) analiza cómo las estructuras técnicas imponen un control vertical del conocimiento especializado, aislando la realidad en disciplinas estancas y bloqueando la imaginación social. Esto provoca que el tecnócrata opere como un "observador externo" incapaz de captar las dinámicas orgánicas del suelo.

La técnica de "esconder la escala" mediante preguntas ciegas en este modelo es la traducción metodológica exacta para resolver esta limitación. Al remover temporalmente las etiquetas racionales y burocráticas (como transporte, política o salud), se suspende la inercia lineal de la mente sectorizada. Los comités de expertos humanos y los líderes comunitarios —con el ruido cognitivo mitigado bajo la frecuencia de 432 Hz— activan el meta-lenguaje del "observador interno". Las respuestas conectan sistémicamente los componentes del territorio a través de una Interacción Estratégica pura (Caraballo, 2010), donde el acto de nombrar estabiliza la visión de futuro antes de que se disuelva en la turbulencia de la crisis.

7.3. La "Fuga de la Historia" y el Colectivo Prometeo ante la Anomia Urbana

Amodio (2002) demuestra que un desastre sísmico no ocurre en el vacío, sino que impacta sobre la fragmentación cultural y las vulnerabilidades preexistentes en los territorios populares, provocando una crisis de identidad y la pérdida del horizonte de referencia urbano. Para sobrevivir al shock, las poblaciones suelen activar de forma orgánica una "fuga de la historia" meta-histórica a través de prácticas y rituales que intentan reintegrar el sentido comunitario.

Nuestra metodología transforma este mecanismo antropológico en una herramienta de Ingeniería Social de Emergencia. La sintonización bioacústica a 432 Hz y la métrica de raíz sumeria (ligada a proporciones matemáticas universales) operan como una "fuga de la historia" controlada, científica y medible. El estímulo sónico altera favorablemente la neurobiología celular, induciendo una coherencia socio-fisiológica que calma el cerebro reptiliano de huida.

Esto valida técnicamente la exigencia política de Amodio (2002): rechazar la tutela externa y capacitar directamente a los actores de la propia comunidad. El arquetipo del *Trickster* encarna formalmente en este colectivo comunitario de creadores (*Prometeo*), quienes actúan como el "atractor extraño" en el terreno, sembrando un criterio de diseño armónico que permite a los equipos técnicos y a la población convivir con la anomalía geológica, guiando su propia emancipación y organización territorial.

8. Neurobiología de la Percepción Temporal: Sintonía Frecuencial y Mitigación del Sobreestímulo Digital en la Modelación del Territorio

La transición operativa desde el desarrollo prospectivo hacia la edificación de un territorio resuelto exige evaluar las condiciones psicofísicas de los comités técnicos y los actores comunitarios encargados de la toma de decisiones. Bajo las dinámicas de la planificación urbana convencional, los equipos humanos se ven sometidos a un estado de sobreestímulo cerebral agudo, provocado por la saturación de flujos de datos algorítmicos procedentes de la Inteligencia Artificial y la dependencia absoluta de dispositivos digitales informacionales.

Desde la perspectiva de las inteligencias múltiples y el cerebro triuno de Elaine de Beauport, este bombardeo de variables lineales hiperestimula el neocórtex verbal y sobreactiva las respuestas de urgencia del cerebro reptiliano, fijando a los planificadores en un bucle de ansiedad cognitiva que fragmenta la percepción sistémica e impide la emergencia del "observador interno" teorizado por Emanuele Amodio. Ante el desgarre sísmico y la ambigüedad del desastre, el tecnócrata colonizado digitalmente es incapaz de evocar e imaginar futuros alternativos, tendiendo a la repetición inercial de la rigidez estructural euclidiana.

Para revertir esta parálisis y dar paso a una verdadera Interacción Estratégica, este modelo introduce una metodología de doble atemporalidad basada en el aislamiento digital medido y la sintonización bioacústica. El uso de la frecuencia infinitesimal a 432 Hz, combinada con la prosodia regularizada de lenguas raíz como el sumerio antiguo, opera como un dispositivo homeostático de defensa que desintoxica el sistema nervioso autónomo. Al atenuar el ruido de la IA y suspender temporalmente el tiempo lineal de las pantallas, la amígdala cerebral mitiga la producción de cortisol, permitiendo que la psique colectiva desaloje el ego verbal y acceda al orden implicado de las imágenes preexistentes.

A continuación, se despliega la matriz analítica completa que contrasta las tres etapas de la Prospectiva Territorial bajo la escala convencional de 440 Hz frente al protocolo armónico de 432 Hz:

9. Matriz Comparativa de Prospectiva Territorial: Sintonía Frecuencial y Desintoxicación Digital

Etapa de Prospectiva Territorial	Enfoque Lineal (Escala 440 Hz) con Sobreestímulo Digital (IA/Dispositivos)	Propuesta Innovadora (Escala 432 Hz) con Atenuación Digital Estratégica (Uso Medido)	Mecanismo de Acción Neuro-Antropológico y Operación en el Terreno
1. Anticipación Estratégica *(El Oráculo del Sonido / Rol del Chamán)*	**Estimulación Cortical Aguda:** La afinación a 440 Hz induce un estado de alerta externa y tensión silábica. Al saturar el proceso con flujos continuos de datos predictivos de IA y notificaciones en tiempo real, se sobreestimula el neocórtex verbal. *Efecto:* El equipo técnico queda atrapado en el "sesgo de urgencia" y en el trauma del presente lineal, incapaz de captar las señales débiles o la memoria profunda del territorio.	**Apertura Perceptiva Atemporal:** El uso de vibración acústica en 432 Hz, acoplado a la métrica circular del sumerio antiguo, genera una prosodia grave y lenta. Al silenciar y apagar por completo los dispositivos digitales durante la inmersión, se elimina la interferencia cibernética. *Efecto:* Desconexión del ego racional-verbal. Se activa la evocación y el "lenguaje interior" necesario para capturar las imágenes preexistentes de futuro en lo atemporal.	**Desactivación del Bloqueo Cortical:** Al remover el bombardeo de la IA y aplicar los 432 Hz, la amígdala cerebral reduce la producción de cortisol. Esto mitiga el estado de shock pasivo del "observador interno" (comunidad), permitiendo mapear las verdaderas grietas estructurales e intangibles de la población.
2. Prospectiva Estratégica *(Diseño de Escenarios / Rol del Demiurgo)*	**Planificación Rígida y Tecnocrática:** La frecuencia 440 Hz mantiene al cerebro en ondas Beta altas. El uso excesivo de pantallas y software predictivo cerrado fuerza el diseño de maquetas urbanas hiperconcentradas, rígidas y verticales (*ciudades de cristal*). *Efecto:* Los escenarios se basan en la ilusión del control técnico occidental. La ambigüedad del desastre geológico genera	**Estructuración Sistémica y Holística:** La resonancia continua en 432 Hz propicia estados de coherencia socio-fisiológica y ondas Alfa/Theta. Los dispositivos digitales se usan de forma estrictamente regulada y analítica, únicamente para el vaciado de datos duros de microzonificación sísmica. *Efecto:* Pensamiento sistémico unificado. Los equipos de ingenieros y urbanistas co-construyen de manera colaborativa	**Acoplamiento de Modelos de Vanguardia:** La sintonía psicofísica limpia el ruido cognitivo, facilitando que la rigidez matemática del método MEYEP y de la Técnica de Escenarios colapse armónicamente con la Contabilidad Global de los Intangibles. Se aprende a bailar con la ambigüedad fractal de la falla.

	ansiedad y competencia egóica en las mesas técnicas humanas.	escenarios de baja altura y arquitecturas deformables (bambú/caña).	
3. Implantación Estratégica *(El Caballo de Troya / Rol del Trickster)*	**Respuestas Reactivas y Centralizadas:** Bajo los 440 Hz y la dependencia total de redes artificiales y satélites, la población e instituciones operan mecánicamente bajo protocolos punitivos o simulacros basados en el miedo. *Efecto:* Al fallar la electricidad o las telecomunicaciones durante una réplica, el sistema colapsa en anomia social e histeria colectiva. El saber técnico se queda en un búnker de burócratas, excluyendo la vivencia popular.	**Gobernanza Autónoma y Orgánica:** Los 432 Hz se siembran como una anomalía magnética en la cultura cotidiana mediante el colectivo de actores locales (*Prometeo*). El uso de tecnología algorítmica se atenúa para dar prioridad absoluta a los canales y soportes analógicos (lienzos circulares, hilos, voz y Códices escritos). *Efecto:* La comunidad absorbe el impacto de forma descentralizada, activando redes de autogestión sin necesidad de pantallas.	**El Hackeo Institucional Inalterable:** Los principios biológicos se introducen en los manuales de Protección Civil disfrazados bajo el lenguaje corporativo formal de "Señalética háptica y sónica". Se traslada la soberanía decisional al sujeto local a través de preguntas ciegas, fijando el mañana en la memoria celular del territorio.

Conclusiones Estratégicas del Cruce Metodológico

La IA como Herramienta, no como Colonizadora: La atenuación del uso de dispositivos digitales y de la IA en las fases I y II evita la "colonización de la imaginación". Permite que los escenarios territoriales para La Guaira y Caracas emerjan del "observador interno" y de la identidad etnohistórica, en lugar de renders genéricos corporativos de vidrio y metal.

El Sonido como la Primera Geometría: La escala 440 Hz perpetúa la fragmentación psíquica e individualista del entorno urbano. La escala 432 Hz opera como una tecnología homeostática de defensa, un pegamento mecánico que sincroniza los ritmos respiratorios y cardíacos de los comités de expertos y de los habitantes del barrio en el terreno.

El Éxito de la Simbiosis: La aplicación de la Contabilidad de los Intangibles y el Índice IGCA encuentra su máxima eficacia bajo el protocolo de 432 Hz con desintoxicación digital. Al limpiar el sobreestímulo cerebral, el equipo humano recupera la capacidad de inventariar y tasar los verdaderos activos invisibles del territorio (resiliencia, redes analógicas autónomas), asegurando que el diseño técnico se convierta en realidad vivida.

10. Glosario de Términos (Mitos y Arquetipos)

Concepto metodológico, no místico.

En prospectiva estratégica, los mitos y arquetipos funcionan como estructuras cognitivas universales que organizan la percepción colectiva frente a crisis, incertidumbre o transformación. No se emplean como narrativas religiosas ni simbologías esotéricas, sino como modelos mentales permanentes que permiten interpretar comportamientos sociales, anticipar reacciones comunitarias y diseñar escenarios culturalmente coherentes.

Función técnica: Actúan como marcos de interpretación territorial; permiten identificar patrones colectivos que influyen en decisiones públicas; facilitan la construcción de escenarios defendibles y culturalmente viables; y se integran con el IGCA, el MAVE cuántico y el Cono Cuántico para comprender la dimensión humana de la anticipación.

Chamán: Arquetipo metodológico del observador interno. Representa la fase de anticipación estratégica, donde se leen grietas emocionales y sociales del territorio. No es un adivino: es un protocolo de lectura de señales débiles y estados colectivos.

Demiurgo: Arquetipo del arquitecto de escenarios. Simboliza la fase de prospectiva estratégica, donde se configuran escenarios deseables y defendibles. No es un creador divino: es un protocolo de diseño estructural.

Trickster: Arquetipo del hackeo institucional y cultural. Representa la fase de implantación estratégica, donde se introducen innovaciones disruptivas en normativas y prácticas sociales. Su función es traducir la resonancia simbólica al lenguaje técnico y regulatorio.

Eterno Retorno: Marco narrativo de resiliencia cíclica. Explica cómo las ciudades pueden renacer tras el colapso, transformando la crisis en oportunidad de reconstrucción orgánica.

432 Hz: Criterio acústico defendible. Herramienta de coherencia sociofisiológica que calma el sistema nervioso, reduce el pánico y sincroniza equipos humanos en contextos de crisis. Se presenta como parámetro matemático y biológico, no como creencia esotérica.

Lenguas antiguas: Protocolos de prosodia lenta y grave que vibran naturalmente en 432 Hz. Cada lengua aporta un matiz

estratégico: el arameo induce calma colectiva; el sumerio provee el nombramiento fundacional; y el sánscrito la validación reflexiva. Se usan como instrumentos operativos de anticipación, no como invocaciones mágicas.

Contabilidad Global Anticipatoria de los Intangibles: Herramienta formal para inventariar y auditar activos invisibles: resiliencia comunitaria, coherencia biológica y tejido relacional. Se traduce en métricas defendibles que complementan cálculos materiales de ingeniería y gobernanza.

IGCA: Instrumento prospectivo que mide la capacidad institucional y territorial para anticipar y adaptarse a transformaciones aceleradas. Estructurado en 9 dimensiones y 32 subíndices, integra métricas tangibles e intangibles. Se articula con metodologías como MEYEP (escenarios), MESAT (alerta temprana), MAPER (actores) y PLANTI (planeamiento anticipativo). Su propósito es fortalecer la gobernanza democrática, la anticipación estratégica y la resiliencia territorial.

11. Conclusiones y Resultados Ampliados

La integración del Modelo de Escenarios MEYEP (Balbi, 2014), la Contabilidad Global de los Intangibles (Caraballo, 2015) y la Antropología del Desastre (Amodio, 2002, 2005) en un único ciclo metodológico atravesado por la frecuencia de 432 Hz y las lenguas raíz, permite extraer las siguientes conclusiones de alto alcance para el eje estratégico Caracas - La Guaira:

11.1. La Validación del Futuro como Entidad Preexistente y Recordable

Frente al paradigma de la planificación lineal e institucional —que reduce la prospectiva al cálculo probabilístico del pasado a través de algoritmos e Inteligencia Artificial—, este artículo demuestra que el futuro existe como información latente dentro de un orden implicado (Bohm, 1980). El futuro de un territorio no se planifica desde la nada; se rescata de lo atemporal.

Los talleres de inmersión sónica y el uso de las preguntas ciegas no son disparadores creativos azarosos; operan como herramientas de excavación arqueológica cognitiva. Al neutralizar el ego verbal del neocórtex mediante la inducción micro-acústica, la psique colectiva accede al "observador interno" (Amodio, 2005), logrando capturar y anclar la Imagen de Mayor Posibilidad de Colapso Armónico antes de que el trauma geológico cristalice en anomia social.

11.2. La Sustitución del Activo Físico por la Auditoría de Intangibles (IGCA)

La recurrencia histórica de los desastres en el litoral central (1999, 2026) confirma la advertencia de Amodio (2005) sobre el fracaso de las ciencias duras aisladas: la Tierra habla a través del desgarre porque el urbanismo occidental insiste en imponer una rigidez estructural ciega ante la geografía viva. El dogma de la "reconstrucción lineal" es financieramente inviable y biológicamente hostil.

La aplicación de la Contabilidad de los Intangibles de Caraballo (2015) subvierte esta inercia al demostrar que, en el momento del colapso, el verdadero valor de resiliencia de una sociedad no reside en sus metros cúbicos de concreto, sino en sus activos invisibles: la soberanía comunicacional, la sincronización neurofisiológica y el tejido relacional autónomo. El Índice IGCA se consolida como el primer instrumento formal capaz de cuantificar la defendibilidad de estos activos, permitiendo a las comisiones de urbanismo transitar de una economía de la destrucción a una estrategia de adaptabilidad flexible y modular (arquitectura deformable).

11.3. El Caballo de Troya Regulatorio del Trickster y la Autonomía Comunitaria

El escepticismo de los comités técnicos tradicionales y la burocracia estatal es neutralizado mediante la acción prometeica del *Trickster*. Traducir los principios puros de sintonía biológica al lenguaje normativo riguroso de la ingeniería de seguridad —bajo el concepto de *"Mecanismos de señalética háptica y sónica para la gestión de flujos humanos en entornos de alta densidad"*— constituye un hackeo institucional indispensable.

Este caballo de troya legal permite que las plantas acústicas y los anfiteatros de resonancia pasiva en 432 Hz sean integrados en los manuales oficiales de Protección Civil, blindando la implantación del territorio resuelto. Al final, el arquetipo cobra vida real cuando es encarnado por el colectivo de actores comunitarios (*Prometeo*), cumpliendo con la exigencia política de Amodio (2002): transferir el poder de gestión al sujeto local, logrando que el barrio actúe como un "atractor extraño" autónomo que se autorregula, se organiza y se sana a sí mismo sin depender de la tutela centralizada cuando las redes artificiales colapsan.

11.4. Síntesis Epistemológica de la Simbiosis Metodológica

En última instancia, el éxito de esta Interacción Estratégica (Caraballo, 2010) radica en su carácter simbiótico: la rigidez analítica y el cálculo vectorial del método Balbi (MEYEP) proveen el encofrado estratégico y la defendibilidad institucional ante el Estado; mientras que el método LGC (Contabilidad de Intangibles + Inmersión Sónica) aporta la fluidez biológica y el pegamento vibratorio que asegura que lo técnico se convierta en realidad vivida. Venezuela se posiciona así a la vanguardia de la Prospectiva Compleja global, demostrando que la primera geometría para ordenar el caos del territorio nace de la sintonía profunda del propio ser humano.

12. Referencias

Amodio, E. (2002). *Cultura y educación en los territorios populares urbanos*. Caracas: Encuentro Internacional de formación de educadores populares.

Amodio, E. (2005). *El fin del Mundo. Culturas locales y desastres: una aproximación antropológica*. Caracas: Faces - Universidad Central de Venezuela.

Amodio, E. (2006). *Producción y transmisión del saber: oralidad, escritura e imágenes*. Serie Desarrollo del Lenguaje y la Comunicación No.3. Caracas: IESALC UNESCO / CAF.

Balbi, E. R. (2014). *Construyendo el futuro: Método MEYEP de Prospectiva Estratégica*. Manual del Método Oficial de la Red EyE Escenarios y Estrategia en América Latina. Buenos Aires: Red EyE / CEPAL.

Balbi, E. R. y Crespo, M. F. (1997). *Capturando el Futuro*. Buenos Aires: Editorial Formato.

Black, J. A., Cunningham, G., Robson, E. y Zólyomi, G. (2004). *The Literature of Ancient Sumer*. Oxford: Oxford University Press.

Bohm, D. (1980). *La totalidad y el orden implicado*. Barcelona: Editorial Kairós.

Borjas, B. (2007). *Lenguaje y Pensamiento*. Serie Desarrollo del Lenguaje y la Comunicación No.7. (Edición y coordinación editorial a cargo de M. Bethencourt y E. Amodio). Caracas: IESALC UNESCO / CAF.

Briggs, J. y Peat, F. D. (1999). *Espejo y Reflejo: Guía ilustrada de la teoría del caos y la ciencia de la totalidad*. Barcelona: Editorial Gedisa.

Campbell, J. (1959). *El héroe de las mil caras: Psicoanálisis del mito*. México: Fondo de Cultura Económica.

Caraballo, L. G. (1994). *Metodología en Técnicas de Escenarios*. Caracas/Bogotá: Editorial Planeta.

Caraballo, L. G. (2010). "La interacción y los tiempos en los escenarios regionales". En Baena Paz, G. (Ed.), *Cuadernos de Pensamiento Estratégico e Interacción Estratégica*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Caraballo, L. G. (2015). "La anticipación de los intangibles, una contabilidad anticipatoria global". En Baena Paz, G. (Coord.), *Planeación Prospectiva Estratégica: Teorías, metodologías y buenas prácticas en América Latina*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) / Proyecto PAPIME.

De Beauport, E. con Diaz, A. S. (1994). *Las tres caras de la mente: Aprendizaje y salud con el cerebro total*. Caracas: Editorial Galac / New York: Houghton Mifflin.

Enheduanna. (ed. de De Shong Meador, Betty). (2001). *Inanna, Lady of Largest Heart: Poems of the Sumerian High Priestess Enheduanna*. Austin: University of Texas Press.

Gabiña, J. (2014). *El futuro revisitado: La reflexión prospectiva como arma de estrategia y decisión*. Madrid: Alfaomega / Marcombo.

Galpin, F. W. (1937). *The Music of the Sumerians and their Immediate Successors, Babylonians & Assyrians*. Cambridge: Cambridge University Press.

Godet, M. (1993). *De la anticipación a la acción: Manual de prospectiva estratégica*. Barcelona: Editorial Marcombo.

Jung, C. G. (2002). *Los arquetipos y lo inconsciente colectivo* (Vol. 9/1 de la Obra Completa). Madrid: Editorial Trotta.

Kilmer, A. D. (1971). *The Discovery of an Ancient Mesopotamian Theory of Music*. Washington: American Philosophical Society.

Kramer, S. N. (1963). *The Sumerians: Their History, Culture, and Character*. Chicago: The University of Chicago Press.

McCraty, R. (2015). *Science of the Heart: Exploring the Role of the Heart in Human Performance*. Boulder Creek: HeartMath Institute.

Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. White River Junction: Chelsea Green Publishing.

Metcalf, C. (2019). *Sumerian Literary Texts in the Schøyen Collection: Volume 1. Myth and Poetry*. Bethesda: CDL Press.

Morin, E. (1994). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Editorial Gedisa.

Poli, R. (2017). *Introduction to Anticipation Studies*. Cham: Springer International Publishing.

Radin, P. (1956). *The Trickster: A Study in American Indian Mythology* (con comentarios de C.G. Jung). Nueva York: Philosophical Library.

Radigue, É. (2000). *Trilogie de la Mort / Songs of Milarepa*. París: Empreintes DIGITALes.

Von Bertalanffy, L. (1779). *Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 450 – 455
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/189

DE LA MEMORIA SÍSMICA A LA EDUCACIÓN SÍSMICA: CÓMO ACTUAR Y APLICAR PROTOCOLOS DE PROTECCIÓN PERSONAL. LECCIONES TRAS LOS SISMOS DEL 24 DE JUNIO DE 2026

Noel MARIÑO PARDO[1]

RESUMEN

La memoria sísmica en Venezuela resulta fundamental para transformar la vulnerabilidad geológica en una cultura efectiva de prevención. La interacción entre las placas del Caribe y Sudamericana expone a cerca del 80 % de la población nacional a una elevada amenaza sísmica, escenario evidenciado tras los eventos del 24 de junio de 2026. Dichos acontecimientos no solo reabrieron el debate sobre la respuesta de la infraestructura, sino que reafirmó que la ingeniería requiere de una ciudadanía capacitada para reducir pérdidas humanas. La infraestructura escolar representa un punto crítico de atención. El colapso de dos planteles por el sismo de 6,9 Mw de Cariaco (estado Sucre) en 1997 exige reactivar planes de adecuación estructural y medidas de mitigación no estructural para evitar daños personales a los estudiantes y profesores. Asimismo, la resiliencia comunitaria demanda la interiorización de los protocolos de actuación en sus tres fases: planificación familiar previa, la maniobra respaldada internacionalmente: "Agáchate, Cúbrete y Agárrate" durante el sismo y una evacuación ordenada posterior. Por otra parte, investigaciones recientes y registros históricos impulsan un cambio de paradigma al demostrar que el Escudo de Guayana registra atenuación anómala e intensidades significativas en Ciudad Bolívar y Ciudad Guayana, lo que hace prioritaria la revisión de la norma sismorresistente COVENIN 1756-1: 2019 para esta región. En conclusión, la respuesta ante la realidad geotectónica debe integrar el rigor técnico con la institucionalización de la educación sísmica ciudadana y simulacros permanentes.

ABSTRACT

From seismic memory to seismic education: how to act and apply personal protection protocols. Lessons learned from the earthquakes of 24/06/2026

Seismic memory in Venezuela is fundamental to transforming geological vulnerability into an effective culture of prevention. The interaction between the Caribbean and South American plates exposes about 80% of the national population to a high risk, a scenario evidenced after the seismic events of June 24, 2026. These events not only reopened the debate about the infrastructure response, but also reaffirmed that engineering requires an educated citizenry to reduce loss of life. School infrastructure represents a critical area of focus. The collapse of two schools due to the 6.9 Mw earthquake in Cariaco (Sucre state) in 1997 requires reactivating structural adaptation plans and non-structural mitigation measures to prevent personal damage to students and teachers. Likewise, community resilience demands the internalization of action protocols in its three phases: prior family planning, the internationally supported maneuver: "Drop, Cover and Hold On" during the earthquake and an orderly evacuation afterwards. Furthermore, recent research and historical records are driving a paradigm shift by demonstrating that the Venezuelan Guiana Shield registers anomalous attenuation and significant intensities in Ciudad Bolívar and Ciudad Guayana, making it a priority to review the COVENIN 1756-1: 2019 seismic-resistant standard for this region. In conclusion, the response to geotectonic reality must integrate technical rigor with the institutionalization of citizen seismic education and permanent drills.

Palabras clave: Amenaza sísmica, vulnerabilidad escolar, prevención de desastres, Escudo de Guayana, atenuación anómala, COVENIN 1756.

Keywords: Seismic hazard, school vulnerability, disaster prevention, Guiana Shield, anomalous attenuation, COVENIN 1756.

INTRODUCCIÓN

La memoria sísmica de una nación no se construye únicamente sobre la magnitud de sus terremotos o el registro instrumental de los acelerógrafos[2], sino sobre la capacidad colectiva de aprender de ellos y transformar la vulnerabilidad en cultura de prevención. Como señalaba Grases (2006) —pionero de la ingeniería sismorresistente e Individuo de Número Fundador de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (Sillón VIII)—, la sismicidad histórica es el cimiento de los modelos de amenaza moderna. Preservar la memoria

[1] Ingeniero Geólogo, especialista en tecnología minera. Académico correspondiente por el estado Bolívar, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Comisión de minería y materiales. Correo-e.: geonotasvzla@gmail.com

[2] Instrumento de alta precisión diseñado para medir y registrar la aceleración del suelo o de una estructura durante un terremoto.

sísmica no es solo un deber historiográfico, sino la única vía para garantizar que las normativas de construcción y los protocolos de protección civil respondan a la verdadera situación nacional, es decir, la "recurrencia de los sismos"[3] es una realidad para Venezuela.

Por ello se insiste: El norte de Venezuela constituye una región de alta amenaza sísmica debido a la compleja interacción tectónica entre las placas del Caribe y de Sudamérica. Esta dinámica geológica activa los principales sistemas de fallas del país, los cuales atraviesan los centros urbanos más importantes de Venezuela. En consecuencia, Singer y Audemard (1997) advierten que aproximadamente el 80 % del desarrollo sociodemográfico, las grandes industrias e infraestructuras del país se concentran históricamente en zonas de elevada amenaza sísmica, que es una estrecha franja norteña de 100 a 110 km de ancho, que vuelve indispensables las necesarias políticas de prevención y la construcción sismorresistente.

Los acontecimientos ocurridos el pasado 24 de junio de 2026 marcaron un hito significativo en la evaluación del riesgo geológico en Venezuela. No se trató de una sacudida convencional. La complejidad del evento —explicada desde los conceptos del sismo tectonismo por el Dr. Franck Audemard como un sismo multifocal (VTVCanal8, 2026)— evidenció la activación de dos zonas de ruptura en un breve intervalo de tiempo (Δt = 39 s). Esta compleja respuesta tectónica, acompañada por la normal secuencia de réplicas, no solo reabrió el debate técnico sobre los modelos de amenaza y la respuesta de la infraestructura nacional, sino que expuso una verdad fundamental: la mejor herramienta de ingeniería y gestión de riesgo pierde efectividad si la ciudadanía desconoce cómo reaccionar en el momento crítico.



Figura 1 *– Técnica, institucionalidad y educación sísmica: la base para fortalecer nuestros protocolos de protección personal y educación sísmica. Enlace para acceder al video del Webinar con las tres ponencias: https://youtu.be/eTf2ZF3SY6I*

El presente artículo aborda las lecciones derivadas de los eventos del 24/06/2026 desde una perspectiva integral, que fue plasmada por el autor en una de las secciones del foro titulado: "*Venezuela post terremoto: Reconstrucción con sentido humano, rigor técnico e institucionalidad*", que fue realizado de manera virtual el 16/07/2026 (Figura 1). A partir del análisis del marco geodinámico y la naturaleza multifocal de la ruptura, se plantea la transición necesaria hacia la educación sísmica sistemática, proporcionando lineamientos claros y protocolos de protección personal orientados a salvaguardar la vida en el hogar, la escuela, hospitales y el lugar de trabajo.

CONTEXTO TECTÓNICO Y LA SUCESIÓN CRÍTICA

Venezuela se localiza en una compleja zona de interacción tectónica entre la Placa del Caribe y la Placa Sudamericana, cuyo movimiento relativo predominantemente dextral se estima en 20 mm ± 2 mm/año (Pérez *et al.*, 2001). Este régimen de deformación activa se acomoda a lo largo de los principales sistemas de fallas del país: Boconó, Oca-Ancón, San Sebastián y El Pilar (Figura 2). La peligrosidad de esta configuración quedó en evidencia tras los eventos del 24 de junio de 2026, al norte del territorio nacional, la cual destacó por una sucesión crítica de dos terremotos destructivos donde las autoridades y los informes técnicos determinaron que La Guaira y el Distrito Capital concentraron el 47 % de los daños totales del país (Caro y Equipo de periodismo visual, 2026).

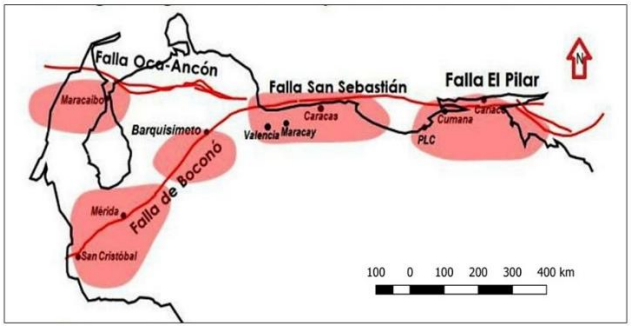


Figura 2 *– Mapa simplificado de las principales fallas sismogénicas de Venezuela. En rojo se destacan las zonas con mayor potencial de afectación ante un evento sísmico. Tomado de @geologochacin*

En consonancia con lo anterior, el suscrito ha enfocado su labor voluntaria en la capacitación sobre educación sísmica a través de entrevistas y de actividades presenciales, desarrolladas tanto en los diversos niveles del sistema educativo como en espacios extracurriculares (Figuras 3 y 4). Al respecto, resulta fundamental recordar una premisa clave promovida por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) y el Banco Mundial: "Por cada dólar invertido en prevención, se pueden ahorrar entre 8 y 10 dólares en reparación o reconstrucción".

[3] Es el tiempo promedio entre terremotos de una magnitud similar en una misma falla, calculada mediante registros históricos y leyes de frecuencia (Editado de Centeno-Graü, 1940).



Figura 3 *- Jornada de capacitación básica y simulacros de prevención (en forma de juegos) con el Grupo Scout Kenya, Puerto Ordaz (julio, 2026).*



Figura 4 *– Práctica de protección personal ante un sismo en espacios abiertos con los jóvenes scouts del Kenya, Puerto Ordaz (julio, 2026).*

INFRAESTRUCTURA ESCOLAR: VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y NO ESTRUCTURAL

En el ámbito de la vulnerabilidad física, la infraestructura educativa nacional representa un punto de atención crítico. Antecedentes históricos revelan que, previo al 24 de junio de 2026, unos 30 eventos sísmicos habían causado daños sustanciales en, al menos, 592 edificaciones escolares (González *et al.*, 2025). El evento sísmico de Cariaco (estado Sucre) en 1997, con una magnitud de 6,9 Mw, evidenció la fragilidad de tipologías constructivas educativas de décadas pasadas como el "Cajetón MOP-MINDUR"[4] y el diseño "Antiguo I"[5], las cuales sufrieron colapsos por aplastamiento de planta baja (Figura 5) que cobraron la vida de 23 estudiantes y profesores (González *et al.*, 2025). Es importante mencionar que, tras el terremoto de Cariaco, se creó el "Aula Sísmica Madeleilis Guzmán"[6], cuyo propósito es un programa socioeducativo para la formación en gestión de la amenaza sísmica y autoprotección en Venezuela, y fue un tributo a esta docente, quien protegió con su vida a dos de sus estudiantes durante el colapso de la Escuela Básica Valentín Valiente (FUNVISIS, s.f.). Tras un período de inactividad y cierre temporal, la reapertura del programa restituye un espacio indispensable para la alfabetización sismológica después de los eventos del 24 de junio de este año.



Figura 5 *– Colapso de dos escuelas durante el terremoto de Cariaco, estado Sucre (julio de 1997): Recordatorio clave para la adecuación estructural y la reactivación de los planes de protección en planteles educativos a corto plazo. Fuente imágenes: Wilmer Marín – FUNVISIS (2006).*

Estos lamentables hechos sustentan la urgencia de ejecutar planes masivos de mitigación estructural y no estructural. Mientras la adecuación de estructuras preexistentes reduce la vulnerabilidad física a nivel general, las medidas no estructurales —tales como la fijación o reubicación de estanterías y bibliotecas pesadas, así como la eliminación de cargas pesadas en altura— resultan determinantes para evitar atrapamientos y lesiones durante un temblor. En este sentido, la necesaria evaluación de vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar deberá ser prioritaria: No basta con saber qué hacer durante un sismo si la estructura física colapsa.

Por otra parte, López *et al.* (2023) presentan una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones educativas públicas ubicadas en el Área Metropolitana de Caracas donde se identificaron 65 edificios críticos. Por ello y en vista de los sucesos vividos, se recomienda retomar de inmediato el "Plan Nacional de Prevención ante la Amenaza Sísmica para Edificaciones Educativas" (FUNVISIS, FEDE e IMME-UCV, 2004).

[4] Construidos en el lapso comprendido entre 1970 y 1986.
[5] Construido por el MOP en la década de los 50.
[6] Enlace: http://www.funvisis.gob.ve/old/prog_aula_sismica.php

PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN CIUDADANA: ANTES, DURANTE Y DESPUÉS

Junto a la ingeniería adaptativa, la resiliencia ciudadana exige la interiorización de protocolos claros de actuación. Por ello, la capacitación y la práctica sistemática en simulacros son las herramientas más efectivas para reducir la pérdida de vidas Se deben consolidar acciones de respuesta inmediata en tres fases fundamentales (Figura 6). 1. **Antes de cualquier sismo**, la preparación familiar debe contemplar la definición previa de un punto de encuentro en un área abierta y despejada, la ubicación estratégica de las llaves del hogar cerca de la puerta de salida y la preparación de una mochila de emergencia individual proyectada para 72 horas, dotada de agua, alimentos no perecederos, botiquín, linterna, radio a pilas, abrigo, silbato, herramientas y documentos vitales. 2. **Durante el sismo**, la respuesta inmediata impone aplicar la directriz internacional de "si se mueve, no se mueva": Mantenga la calma, agáchese, cúbrase y agárrese en un lugar seguro como debajo de una mesa fuerte o escritorio resistente y protegiendo la cabeza en todo momento (Figura 7). Evite el uso de escaleras o ascensores, así como correr por los pasillos mientras dure el movimiento telúrico (Figura 8). 3. Finalmente, **después de la sacudida**, la evacuación debe realizarse de forma ordenada por rutas preestablecidas, evitando el uso de ascensores y la generación de chispas o fuego ante posibles fugas de gas, al tiempo que se presta colaboración en la atención primaria de personas lesionadas, si es posible y se tiene el conocimiento.



Figura 6 *– Síntesis de las acciones cruciales de planificación y ejecución: Esquema pedagógico para reducir riesgos y asegurar una respuesta rápida en las fases "antes, durante y después" de un evento sísmico, detallando los protocolos de autoprotección y las acciones de respuesta en la etapa posterior. Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/old/index.php*



Figura 7 *– Durante la ocurrencia de un sismo, la prioridad es la protección inmediata siguiendo la maniobra de* ***agáchate, cúbrete y agárrate****. Es el estándar internacional de autoprotección durante la sacudida de un sismo, promovido por agencias como el USGS, la Cruz Roja Internacional y adoptado en Venezuela por FUNVISIS y Protección Civil. Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/old/index.php*



Figura 8 *- Respuesta correcta ante el sismo del 30/08/2020 en Puerto Ordaz (4,6 Mw), con epicentro en la península de Paria, en el oriente del país: Aplicación de protocolos de autoprotección en un piso 8, con presencia de ventanales y vidrios divisorios cercanos, tras la preparación adquirida en simulacros de actuación y evacuación realizados por el autor, como delegado de seguridad. Fuente: Noel Mariño (2020).*

Ahora bien, vista la necesidad de establecer protocolos de protección personal para la ciudadanía que garanticen una educación y prevención sísmica permanente y eficaz en Venezuela, se debe trascender el modelo de mando único vertical. Por ello, se propone la conformación de un Consejo Interinstitucional con una Secretaría Técnica Ejecutiva — liderada operacionalmente por FUNVISIS y Protección

Civil— que integre formalmente al Ministerio de Educación (con FEDE), la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH), el Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV) y los gobiernos locales (Figura 9). Esta estructura mixta permitirá articular la investigación técnico-científica con la revisión sistemática de las normativas sismorresistentes, la evaluación de vulnerabilidades en la infraestructura esencial (planteles y hospitales) y la incorporación continua de la cultura del riesgo en los currículos escolares y planes comunitarios. Se deben normar los simulacros, que serán periódicos (mínimo 2 al año[7]) y convertir el protocolo de autoprotección (**Agáchate, Cúbrete, Agárrate**) en una respuesta condicionada automática.

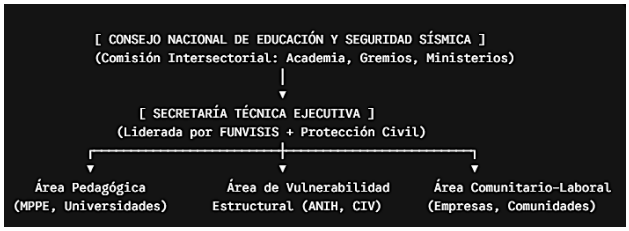


Figura 9 *– Propuesta de modelo funcional para el Sistema de Gestión del Riesgo Sísmico: Gobernanza colegiada de diseño con capacidad técnica-ejecutiva de implementación. Fuente: Elaboración propia.*

CAMBIO DE PARADIGMA: AMENAZA SÍSMICA EN EL NORTE DE GUAYANA

Uno de los aportes científicos más recientes y significativos para el sur del río Orinoco radica en el trabajo de Audemard *et al.* (2025), el cual desafía abiertamente la premisa tradicional que catalogaba al Escudo de Guayana como una zona de absoluta estabilidad sismotectónica. La evidencia técnica documentada desde el año 2000 revela la ocurrencia de sismos en la región norte de Guayana —con magnitudes Mw ≥ 5,0 y profundidades entre 40 y 120 km— vinculados directamente a la dinámica de la losa de subducción Sudamericana-Atlántica (SAA) en el Caribe suroriental. Por ello, estos autores han determinado que Ciudad Guayana y Ciudad Bolívar, emplazadas en la margen más septentrional del área, sobre los sedimentos poco consolidados continentales del Pleistoceno de la Formación Mesa, en contacto discordante con las rocas competentes del cratón Precámbrico de Guayana, *"muestran intensidades sísmicas que no respetan un patrón normal de atenuación con la distancia*".

Asimismo, el análisis histórico de Mariño (2012), demuestra que la afectación sísmica en Guayana no es un fenómeno inédito: las crónicas regionales recopiladas por el misionero jesuita Felipe Salvador Gilij (1780-1784), en su obra "Ensayo de Historia Americana", ya registraban eventos telúricos de origen extra-cratónico tales como el devastador terremoto del 21 de octubre de 1766 (Terremoto de Santa Úrsula), de una magnitud estimada entre 7,5 y 7,9 Mw (Grases, 2006), con impactos notables en los asentamientos del Bajo Orinoco, como Santo Tomé de Guayana, donde se ubican los Castillos de Guayana, estado Delta Amacuro (Figura 10) y Angostura (hoy Ciudad Bolívar). Estos sismos históricos, aunado a los eventos del 24 de junio de 2026, reconfirman de manera contundente que deberá realizarse una revisión, debate y actualización prioritaria de la Norma Sismorresistente Venezolana COVENIN 1756-1:2019 para el norte de Guayana, a fin de adecuar los coeficientes de diseño estructural a esta compleja realidad tectónica regional.

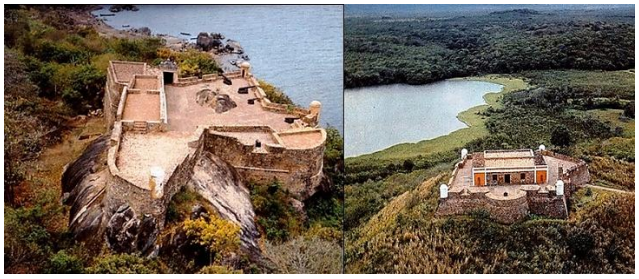


Figura 10 *- Castillos de Guayana tras el sismo de 1766: "Un violento terremoto destruyó el fortín del Cerro del Padrastro, llamado luego San Diego (derecha) y maltrató al fortín de San Francisco de Asís, hoy denominado Campo Elías (izquierda)". Fuente: Tomado de Gilij (1780-1784).*

CONSIDERACIONES FINALES

En primer lugar, la dinámica geológica global y, de manera específica, la interacción entre las placas tectónicas del Caribe y Sudamericana, determinan que Venezuela es un territorio expuesto a la amenaza sísmica y, principalmente, el norte del país, donde reside el 80 % de la población nacional. Ante este panorama, los eventos ocurridos el 24 de junio de 2026 en el centro-norte del país hacen impostergable la revisión y debate de la normativa sismorresistente vigente (COVENIN 1756-1: 2019) para su continua adecuación.

Por otra parte, las crónicas históricas sugieren la necesidad de un cambio de paradigma respecto a la vulnerabilidad sísmica al norte del Escudo de Guayana. Las magnitudes significativas sentidas en localidades como Ciudad Bolívar y Ciudad Guayana ponen de manifiesto patrones de atenuación anómala que demandan mayor atención en los estudios de amenaza regional.

Por ello, la prevención sísmica no debe responder a la contingencia del desastre, sino a una política pública de Estado continua y rigurosa. Asumir que la gestión del riesgo desde la articulación científica, educativa y normativa es el único camino para garantizar una infraestructura resiliente y proteger la vida de la ciudadanía, tomando el aula como semillero del esquema integrado que transformará la amenaza natural en una

[7] Una de las fechas para los simulacros pudiese ser cada 24 de junio, a las 06:04 pm, en honor a las víctimas.

cultura permanente de preparación, responsabilidad compartida y autoprotección ciudadana.

Finalmente, se reafirma que la respuesta ante la compleja interacción tectónica en Venezuela no es solo normativa y técnica, sino educativa. Resulta urgente institucionalizar la educación sísmica como un eje prioritario de capacitación ciudadana, complementado con la ejecución constante de simulacros y programas de preparación a todo nivel. Honrar la memoria de las víctimas exige transformar la lección del pasado en prevención futura, garantizando que la ciudadanía sepa cómo actuar ante sismos y otras amenazas naturales.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su sincero agradecimiento a los pares revisores por sus valiosas observaciones y sugerencias, las cuales contribuyeron a enriquecer este manuscrito.

REFERENCIAS

Audemard M., F. A., Alvarado, L., Arnaiz, M., Romero, G., Reinoza-Gómez, C. E., Martínez-González, A. I., Sánchez-Gamboa, A. K., Lebrun, J. F., Rodríguez, L. M., Rodríguez, J. A., Philippon, M., Singer, A., González, J., y Lotuffo, M., 2025. Sismicidad de profundidad intermedia de la losa de subducción de las Antillas menores, próxima a la península de Paria, Venezuela. *Boletín De Geología*, 47(1): 105–127. https://doi.org/10.18273/revbol.v47n1-2025005

Caro, I. y Equipo de periodismo visual. (27 de junio de 2026). *Qué es el "doblete sísmico" que sacudió Venezuela y por qué provocó tantos daños*. BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/articles/crr8ezq9ez8o

Centeno-Graü, M., 1940. *Estudios sismológicos*. Litografía del Comercio.

FUNVISIS. (s.f.). ¿Venezuela es un país sísmico? Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz. http://www.funvisis.gob.ve/old/pais_sismico.php

FUNVISIS, FEDE e IMME-UCV. 2004. *Proyecto Escuela: Reducción de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones Educativas en Venezuela*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE) e Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME-UCV). Caracas, Venezuela. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve

Gilij, F. S.,1780-1784. *Ensayo de historia americana, o sea historia natural, civil y sacra de los reinos y provincias españolas de Tierra Firme en la América Meridional*. Biblioteca Academia Nacional de Historia, Caracas, 1987. Tomo II.

González B., R., López, O.A. y López, L., 2025. Reducción de la vulnerabilidad sísmica y rehabilitación integral de edificaciones educativas en Venezuela. *Observador del Conocimiento*. Vol. 10 N° 4 julio-septiembre 2025: 77-98. Edición Especial Sismología.

Grases, J. (2006). El terremoto del 21 de octubre de 1766. Inicio de la sismicidad histórica en Venezuela. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, LXVI (1-2): 15-44.

López, O. A., Coronel, D. G., González B., R., y Fierro, F., 2023. Desempeño sísmico de edificaciones educativas (Cap. 6). En: O. López y G. Coronel (Eds.), *Riesgo Sísmico en Caracas y Estrategias de Mitigación. ISBN 978-980-18-3841-8*.

Mariño, N., 2012. ¿Puede el Escudo de Guayana, al sur de Venezuela, ser afectada por un sismo de gran magnitud? Nuevo paradigma basado en las crónicas y los eventos sísmicos recientes. *Revista Commodities Venezolanos,* año 2, 7° Edición, agosto/2012: 42 – 45

Pérez, O. J., Bilham, R., Bendick, R., Velandia, J. R., Hernández, N., Moncayo, C., Hoyer, M., y Kozuch, M., 2001. Velocity field across the Caribbean-South American plate boundary and estimates of fault slip rates in Venezuela. *Interciencia*, 26(3): 99–106.

Singer, A., y Audemard, F.A.,1997. *Aportes de FUNVISIS al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sísmico*. En: J. Grases (Ed.), Diseño sismorresistente. Especificaciones y criterios empleados en Venezuela (pp. 25-38). Caracas: Academia de las Ciencias Naturales, Matemáticas y Físicas (ACFIMAN).

VTVCanal8 [@VTVtuCanal]. (2026, julio 24). *Ingeniero Geólogo, Franck Audemard expuso sobre lo ocurrido el pasado #24Jun con el doble sismo, el cual dejó grandes afectaciones en diferentes regiones del centro norte costero de la geografía venezolana* [Video]. Facebook. https://www.facebook.com/watch/?v=1382874337124376

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 456 – 463
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/190

EL PARADIGMA DE LA GOBERNANZA COMO PERSPECTIVA TEÓRICA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LAS ZONAS AFECTADAS POR EL DOBLETE SÍSMICO DEL 24 DE JUNIO DE 2026 EN VENEZUELA

Luis Miguel OVIEDO RIVAS[1]

RESUMEN

El presente articulo tiene como fin, analizar la crisis del modelo clásico burocrático en Venezuela frente al devastador doblete sísmico de 2026, proponiendo una transición hacia el paradigma de la gobernanza desde la premisa fundamental de que los desastres no son eventos puramente naturales; sino una construcción social derivada de decisiones políticas y desigualdades históricas que generan vulnerabilidades socio-estructurales, enfatizando que la reconstrucción de las zonas afectadas no debe limitarse a reparar infraestructuras, sino que representa una ventana de oportunidad para transformar las relaciones sociales y democratizar el conocimiento del riesgo para su prevención, por lo que se propone un enfoque de gestión integral que involucre de manera horizontal al Estado, la sociedad civil y el sector privado, para así adoptar una gestión del riesgo proactiva que reemplace la improvisación de la administración pública por modelos técnicos y participativos desde el enfoque de la nueva gestión pública.

ABSTRACT

The governance paradigm as a theoretical perspective for the reconstruction of areas affected by the june 24, 2026, seismic doublet in Venezuela

This article aims to analyze the crisis of the classical bureaucratic model in Venezuela in the wake of the devastating 2026 seismic doublet. It proposes a transition toward the governance paradigm based on the fundamental premise that disasters are not purely natural events but rather social constructs stemming from political decisions and historical inequalities that generate structural social vulnerabilities. It emphasizes that the reconstruction of affected areas should not be limited to repairing infrastructure; instead, it represents an opportunity to transform social relations and democratize risk knowledge for prevention purposes. Consequently, the article proposes an integrated management approach involving the State, civil society, and the private sector on a horizontal basis, aiming to adopt proactive risk management that replaces public administration improvisation with technical, participatory models rooted in the New Public Management approach.

Palabras Clave: Gobernanza, desastres, riesgos, vulnerabilidad.
Keywords: Governance, disasters, risks, vulnerability.

Introducción

El presente articulo tiene como fin evidenciar las deficiencias del modelo clásico burocrático en lo que respecta al riesgo y manejo de desastres en el Estado Venezolano, ya que a pesar de la existencia de marcos normativos al respecto, con el inédito doblete sísmico del pasado 24 de Junio de 2026; la percepción de analistas desde las diversas ciencias encargadas de los estudios de este fenómeno, y desde la gestión integral del riesgo se revela fallos críticos en la implementación de políticas públicas gubernamentales, la insuficiencia del manejo de recursos del Estado y la respuesta ineficaz a la contingencia en las primeras horas del desastre, entre otras.

A partir de esta lamentable tragedia, la cual impacto de manera directa e indirecta a todos los venezolanos tanto dentro como fuera de nuestras fronteras; se hace imperiosa la necesidad de implementar un enfoque preventivo y transformativo para la reconstrucción post-desastre de las regiones siniestradas, el cual no se debe limitar solamente a la reposición de la infraestructura física de quienes perdieron todos sus bienes materiales, sino que se constituya un margen de oportunidades para transformar las relaciones sociales y reducir la vulnerabilidad de nuestros connacionales que fueron víctimas de tan lamentable suceso, es por ello que a partir de la implementación del paradigma de la gobernanza para reconstrucción; se puede dar una respuesta efectiva a mediano y largo plazo para satisfacer las demandas y necesidades sociales en lo que respecta a una solución integral y multifactorial para la prestación de bienes y servicios requeridos en la restauración tanto física como psicosocial luego del mencionado desastre.

[1] M.Sc. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Politólogo, Comunicador Social, Magister Scientiae en Ciencias Políticas, Magister Scientiae en Filosofía, estudiante del Doctorado en Filosofía de la Universidad de los Andes, Profesor Agregado, adscrito a la Cátedra de Epistemología y Pensamiento Económico del Departamento de Economía en la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad de Los Andes en Mérida, Venezuela. Correo-e.: luisoviedoula@gmail.com

Desde la perspectiva teórico contemporánea en lo que respecta al análisis de las catástrofes derivadas de los fenómenos naturales; se rechaza tajantemente la noción de desastre como un evento inevitable el cual es provocado únicamente por fuerzas de la naturaleza, en su lugar, se analiza como un constructo social, la cual es el resultado de procesos, decisiones y acciones procedentes de los modelos de los modelos políticos y de desarrollo implementados en los Estados nación, de manera que el desastre como consecuencia de un evento causado por la naturaleza desde las ciencias sociales no es un hecho accidental, sino que se considera desde la correlación de amenazas como fenómenos geofísicos o meteorológicos y de vulnerabilidades a partir de condiciones sociales, políticas, económicas y ambientales preexistentes, es por ello, que es de suma importancia que todas las fuerzas vivas tanto nacionales como internacionales; sean los actores claves para transitar a una coparticipación real en la gestión integral del riesgo (GIR) para el manejo y prevención de emergencias de este tipo.

El proceso post-emergencia surge como una oportunidad para la transformación social, más allá de la mera reparación de daños materiales, permitiendo orientar el diseño urbano hacia la inclusión de todas las fuerzas vivas que confluyen en una dimensión espacial determinada, para así evitar reproducir a posteriori las vulnerabilidades que causaron el desastre inicialmente, y es allí donde la participación ciudadana juega un rol fundamental desde la constitución de redes de la sociedad civil para la atención y prevención de desastres, ya que han demostrado ser agentes de respuesta más eficaces y eficientes frente a sucesos causados por la naturaleza, al respecto Margarita Velázquez Gutiérrez citando a Sarah Bradshaw establece que:

> En síntesis, existe un universo de mayores dimensiones que abordar antes de comenzar un *proceso de reconstrucción*. ¿Y reconstrucción de qué? Siguiendo a Sarah Bradshaw (2013) el proceso que se inicia post-emergencia puede ser pensado como una "ventana de oportunidades". Para algunos organismos de cooperación y agentes de toma de decisiones de la sociedad civil, los desastres muestran lo desigual que es la sociedad antes de la emergencia. Es decir, el desastre, así visto, puede ser una puerta abierta para comenzar a construir nuevas y mejores maneras de configurar no sólo el espacio físico, las edificaciones, sino también una oportunidad para el cambio y la transformación de las relaciones sociales que se espacializan en un lugar determinado, en este caso, la ciudad. (Velázquez, 2018:155).

La reconstrucción de una ciudad tras un sismo por ejemplo, no es un trámite técnico de remoción de escombros y edificaciones, es una intervención sociopolítica de carácter estratégica y obligatoria, por lo tanto, es imperativo erradicar de la gestión pública la percepción de "desastre natural" el cual generalmente pretende absolver de responsabilidad a los tomadores de decisiones. Para evitar ese sesgo es necesario inclinarse a favor del concepto de construcción social del riesgo como resultado del desastre ocasionado por algún fenómeno natural, sobre todo porque el evento geofísico en este caso es inevitable pero la noción de desastre es el resultado directo de la acción humana y de la implementación de modelos políticos y económicos los cuales bajo una lógica extractivista, han priorizado comúnmente el lucro por encima de la seguridad de los grupos sociales, de manera que la vulnerabilidad ante un fenómeno natural no es producto de la espontaneidad; sino condiciones estructurales definidas por tres dimensiones críticas: una vulnerabilidad material (infraestructura precaria y falta de cumplimiento de normas de construcción en zonas de alta exposición sísmica), una vulnerabilidad simbólica (invisibilización de grupos históricamente marginados en la planificación del espacio público) y una vulnerabilidad institucional (incapacidad de los organismos estatales para coordinar una respuesta preventiva, operando bajo lógicas improvisadas), es por ello que Allan Lavell en la década de los noventas ya insistía en que:

> Los que gerencian los desastres en el sector público no han llevado a cabo una evaluación sistemática de los aspectos operacionales y de formulación de políticas que enfrentarán durante la presente década. Aspectos claves que tendrán que considerar incluyen: el desarrollo de un entendimiento más claro de "desastre"; un reconocimiento de que los desastres son eventos sociales; una apreciación del rango creciente de amenazas a las cuales están expuestas las personas; la aplicación de tecnologías a la gestión de los desastres; y la evaluación crítica de a priori acerca de la gestión de los desastres y operaciones para enfrentarlos. (Lavell y Franco, 1996:10).

Si el periodo post-emergencia permite abrir esa "ventana de oportunidad" acuñada por Sarah Bradshaw, significa que se puede traducir al único momento político en el que es posible y obligatorio deconstruir las desigualdades estructurales, sin embargo, la implementación de políticas públicas no adecuadas y la improvisación por parte de quienes detentan el poder político del Estado, puede conllevar a que las reconstrucciones apresuradas ignoren el contexto social tendiendo a reproducir las mismas vulnerabilidades preexistentes, redundando las condiciones para un próximo desastre, un ejemplo de ello se evidencio en el deslave de Vargas en 1.999 y el terremoto de la Guaira del 2.026, repitiéndose lamentablemente el fracaso en la democratización del conocimiento del riesgo, las deficiencias de información oportuna y la capacidad de respuesta girando solamente en torno a la prevalencia del enfoque de "respuesta a la emergencia" es por ello que luego del doblete sísmico mencionado; se deben implementar protocolos ciudadanos de monitoreo para la reconstrucción que sean totalmente independientes del gobierno (para así evitar que la reconstrucción sea reducida solamente a las infraestructuras) y protocolos de protección civil para que sea el eje rector de cada acción de respuesta, asegurándose la formación continua y obligatoria para todos los funcionarios públicos, la empresa privada y la ciudadanía en general.

Por lo tanto la concepción del término desastre no debe ser interpretada como un hecho ocasionado por fenómenos naturales, sino que debe ser concebida como una intervención

de procesos sociales, económicos y políticos preexistentes, es una condición latente y previsible producto de decisiones institucionales ligadas a modelos de gobierno y de convivencia social, los cuales en algunos casos ignoran las capacidades de ambientales territoriales y la vulnerabilidad frente a los riesgos naturales, es por ello, que el fracaso institucional para internalizar estos factores de vulnerabilidad es un resultado de una interpretación sistemáticamente errónea del término "desastre natural" de allí parte la insistencia de que los desastres son sociales o resultan de la acción humana, mientras que los eventos geofísicos son neutros, el impacto devastador es consecuencia de una lógica social de apropiación del espacio, en la que destacan la ocupación de suelos no aptos en zonas de alto impacto, la falta de planificación estratégica y la lógica de desarrollo excluyente en la que se instalan a poblaciones vulnerables en desventaja; antes de la materialización de la amenaza u ocurrencia del fenómeno, esta perspectiva demuestra que la ineficacia de la protección civil como política pública no es accidental, sino el resultado de una gobernabilidad que omite la raíz social de la vulnerabilidad, lo que exige una evaluación rigurosa de la expresión desastre, José Da Cruz establece que:

> La definición de desastre válida para la Cruz Roja Internacional reconoce esta fijación en el agente: "Cuando hablamos de desastres nos referimos a las enormes pérdidas humanas y materiales que ocasionan algunos eventos o fenómenos en las comunidades como los terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos de tierra, desforestación, contaminación ambiental y otros. Para que entendamos los desastres y podamos prevenirlos y recuperarnos si llegan a producirse, es necesario que nos desprendamos de algunas interpretaciones erradas, que han sido transmitidas en nuestras sociedades. Los desastres no son naturales, sino algunos de los fenómenos que los producen. Tenemos entonces que diferenciar dos términos: 'fenómenos naturales' y 'desastre natural', que muchas veces los hemos utilizado como si fueran lo mismo." (Federación 1999).
>
> El problema de las definiciones usuales es el corte que implican en la relación normalidad - desastre. Si pensamos en las víctimas de cualquier desastre y en sus necesidades inmediatas, en qué perdieron y qué reclaman, y lo ponemos en relación a la realidad de los grupos marginados, comprobaremos la similitud de ambas situaciones. Muerte prematura y violenta, hambre, enfermedades, miseria, son consideradas un desastre solamente cuando agentes naturales o tecnológicos agregan una nueva dimensión a circunstancias sociales críticas. Visto contra el trasfondo de las desigualdades globales, la vida cotidiana de los marginados adquiere rasgos desastrosos, y desastre y normalidad se entrelazan en una relación dinámica. Decidir que una situación es desastrosa, pero que otra similar no lo es, depende de la visión de la sociedad que tenga el definidor. (Da Cruz, 2003:22).

Es por ello que la transición hacia la gestión integral del riesgo (GIR) para la prevención de desastres; desde el paradigma de la gobernanza se exige una capacidad presupuestal y planificación diligente, ya que hasta el momento se ha evidenciado que el Estado venezolano presenta un déficit crítico en los protocolos de seguridad, los cuales son inoperantes sin el respaldo material necesario para enfrentar eventos de alto impacto y magnitud, por lo tanto la ausencia de un marco de gobernanza multidimensional representa una amenaza directa a la seguridad pública, y por ende la implementación del anacrónico modelo clásico burocrático no es una opción técnica, la implementación de paradigma de la gobernanza para la gestión pública es una obligación inmediata tanto para el gobierno nacional, estadal y municipal, como para la sociedad civil y el sector privado.

El Fenómeno Natural vs. Desastre Social

Especialistas en ciencias sociales, específicamente desde la sociología del riesgo establecen que hay que desmontar las narrativas sociales en la que presentan a las catástrofes como castigos "divinos" o "golpes inevitables de la naturaleza", es por ello, que es imperiosa la necesidad de comprender que lo que se denomina desastre, es el resultado de procesos sociales, decisiones políticas y desigualdades históricas que se han materializado en un territorio determinado, partiendo de la premisa de que hay una distinción fundamental: la naturaleza produce fenómenos pero la sociedad construye los desastres, por ejemplo un sismo es un evento geofísico neutro pero su transformación en tragedia humana depende exclusivamente del escenario de vulnerabilidad que hayamos edificado previamente, es decir, que el fenómeno natural se origina a partir de procesos geofísicos o meteorológicos cíclicos como sismos o lluvias en la que la naturaleza crea una amenaza física o impacta con fuerza la biosfera a partir de la inevitabilidad de los ciclos que se derivan de ella, y el desastre social es consecuencia de las decisiones humanas, las omisiones políticas y los modelos de desarrollo territoriales, es producto de la vulnerabilidad social, la responsabilidad política de los decisores del Estado y de los actores sociales, para Margarita Velásquez en relación a los postulados de Alan Lavell establece que:

> Estos fenómenos provocaron una transformación en la comprensión y el reconocimiento de la constitución compleja y multidimensional de los desastres, en que la suma de las vulnerabilidades y las amenazas converge finalmente en el riesgo en que las poblaciones se encuentran sumergidas, entendiendo, como lo señala Alan Lavell (2007), que "el riesgo es producto de procesos, decisiones y acciones que derivan de los modelos de crecimiento económico, de los estilos de desarrollo o de transformación de la sociedad".
>
> Coincidiendo con Lavell (1993), podemos señalar que los desastres no son "naturales", son producto de una construcción social. Esto es, eventos geofísicos y meteorológicos puntuales, como terremotos, inundaciones, por nombrar algunos, y el impacto de los mismos sobre la vida humana forman parte de los

> sistemas de relaciones que los humanos establecemos con los espacios ambientales —ecosistémicos y geográficos—, sobre los cuales se instalan los asentamientos humanos, en los que se producen y reproducen las dinámicas económicas —productivas y reproductivas— y políticas. Es una forma y una lógica social de apropiarnos del espacio y que hemos ido configurando a través de procesos histórico-culturales. (Velázquez, 2018:151).

Por esa razón se debe erradicar la proposición que persiste en separar lo natural de lo social, ya que como se ha especificado los desastres no ocurren en un vacío biofísico, sino en una dimensión espacial en la que se humaniza la naturaleza, es de suma importancia comprender que el escenario real de las crisis; es resultado de la praxis social e ignorar esta integración social en espacios de riesgos es no reconocer que la estructura del riesgo es ante todo una construcción histórica y política, bajo la tesis de Karel Kosik la naturaleza ha dejado de ser un ente externo para transformarse en un producto de la acción social, por lo tanto se debe comprender la realidad social bajo la premisa de que los sistemas naturales son intrínsecamente neutrales y es la sociedad la que otorga sentido y consecuencia a esa neutralidad, cuando se considera la naturaleza como un escenario catastrófico parte de que la intencionalidad social entra en conflicto con los mecanismos naturales que cambian la forma de la corteza terrestre, transformando un evento físico neutro en una tragedia humana, el desastre no es un evento fortuito, sino el punto donde los procesos de la naturaleza y las prácticas sociales colisionan, partiendo de que la transformación continua del entorno de los individuos genera una percepción ilusoria de seguridad que llamamos normalidad, la cual oculta los riesgos estructurales que nosotros mismos hemos sembrado en el territorio, por lo tanto esa normalidad no es un estado de equilibrio natural, sino una construcción social y política que distribuye recursos y riesgos de manera desigual, de manera que la implementación de políticas públicas deben deconstruir la normalidad como un imperativo estratégico para poder visibilizar los riesgos latentes antes de que se manifiesten como crisis o tragedias, ya que el desastre refleja las deficiencias preexistentes en las instituciones, leyes e infraestructuras, si un sistema falla durante un evento extremo, es porque ya era precario durante la normalidad, para José Da Cruz:

> El término naturaleza designa a lo que está más allá de lo humano, pero la humanidad es también un elemento de la naturaleza. Mientras la supervivencia humana dependió de lo que el medio le ofrecía, la sociedad no produjo más transformaciones que cualquier otra población de seres vivos. Obviamente, y a diferencia de animales y plantas, la humanidad dejó atrás esa etapa hace miles de años y empezó a crear su propio ambiente. En este proceso se apropió de espacios ecológicos de otras especies, modificándolos según sus prioridades. Así creó una cultura, una naturaleza adaptada a sus necesidades o prioridades. Lo natural y lo cultural son hoy componentes ambientales imposibles de separar.
>
> Si aceptamos entonces que la naturaleza, a lo largo del transcurso histórico, ha pasado a ser menos "natural" y más "cultural", podemos hablar —utilizando una feliz expresión de Karel Kosik— de que existe una naturaleza humanizada como resultado de la colonización del ambiente. En el mismo proceso de humanización de la naturaleza surgieron también las relaciones sociales, es decir, se establecieron relaciones de poder y cooperación. La historia del medio ambiente estará entonces condicionada por las formas que ha ido adquiriendo la naturaleza humanizada, y serán armónicas o conflictivas (Kosik 1979). Solemos interpretar la relación armónica como la normalidad; la conflictiva, como el desastre. (Da Cruz, 2003:11).

Las Etapas de Recuperación y Gestión de la Vulnerabilidad

La reconstrucción es una oportunidad para que los decisores políticos puedan modificar las causas estructurales del riesgo, no se trata de volver al pasado, sino de redistribuir el poder y los recursos para que el territorio sea habitable de manera equitativa, partiendo de los postulados de Da Cruz la cual reza que "el desastre lesiona los intereses de muchos grupos y éstos tienen necesidades y puntos de vista propios. Las autoridades deben tenerlos en cuenta, lo que se refleja en el establecimiento de prioridades, es decir, mediante una elección de las acciones, la adjudicación de recursos y los objetivos a lograr. Todos estos factores son objeto de decisión política" (Da Cruz, 2003:63), por lo tanto, el proceso de reconstrucción debe transitar por las siguientes etapas:

- Emergencia (Días/Semanas): Fin con el cese de rescates y búsqueda de sobrevivientes.
- Restauración (Semanas/Meses): Fin con la reparación de servicios principales y retorno de refugiados.
- Reconstrucción (Meses/Años): Recuperación del nivel de población y reemplazo funcional de viviendas.
- Proyectos a Largo Plazo: Obras de infraestructura mayor y monumentos de superación.

De manera que para una planificación integral partiendo de los ciclos de recuperación y reconstrucción, es necesario entender las interacciones del sistema social, en la que destacan:

1. Los procesos físicos afectan las actividades humanas.
2. Las actividades humanas pueden, involuntariamente, cambiar los procesos físicos.
3. Sobre ciertos umbrales de tolerancia, surgen nuevas adaptaciones.
4. Estas adaptaciones modifican la vulnerabilidad y exposición.
5. Las adaptaciones buscan modificar deliberadamente los procesos físicos.
6. Las adaptaciones rara vez eliminan todas las pérdidas.

7. Las pérdidas netas finales son controladas y absorbidas por la sociedad.

Reducir la vulnerabilidad es en última instancia una cuestión de justicia social y de voluntad política para redistribuir el poder sobre el territorio afectado, por lo tanto los decisores deben adoptar estas normas que trasciendan el anacrónico modelo clásico burocrático, ya que la gestión de riesgos no es un problema solamente técnico o de ingeniería, es un problema de índole social, en consecuencia se debe reducir la vulnerabilidad empoderando a las comunidades para que definan sus prioridades contrarrestando la gestión verticalista la cual comúnmente es inherentemente ineficiente, cuyo fin es que desde el respeto a los procesos geomorfológicos se deje de intentar dominar la naturaleza con infraestructuras que solo posponen el desastre, implantándose agendas a corto plazo que identifiquen riesgos ocultos en la normalidad, a mediano plazo que reformulen los instrumentos de cálculo de pérdidas para priorizar el impacto social capacitando a la comunidad para respuestas autónomas y a largo plazo modificando el ordenamiento jurídico y las políticas públicas de desarrollo que puedan mitigar el riesgo, finalmente partiendo de los postulados anteriores en lo que respecta tanto la reconstrucción como a la gestión del riesgo y la vulnerabilidad se concluye estos aspectos con las siguientes deducciones de Da Cruz:

- La real solución para prevenir desastres, prepararse ante su eventualidad y prestar asistencia, solamente puede provenir de enfrentar los problemas básicos que ponen a los seres humanos en riesgo y acrecientan su vulnerabilidad.
- A pesar de que cada vez se comprende mejor la necesidad de establecer políticas de emergencia y mitigación, estamos lejos de que lo poco existente funcione como debe. La experiencia muestra que muchos planes existen en el papel, pero no han sido probados en la práctica. Cuando llega el momento, reinan la confusión y la superposición de tareas.
- Riesgos y pobreza no pueden separarse. La prevención debería incluir transferencia de recursos a las zonas deprimidas y en riesgo, combinadas con oportunidades para que la población desarrolle sus propias estrategias locales tanto de prevención como de respuesta ante un desastre.
- Los riesgos y la vulnerabilidad dependen más de lo social que de lo natural. Lo físico y las acciones humanas forman los contextos del desastre. Modificarlos es una tarea social, de adaptación, y debería ser parte esencial de la planificación física en tiempos de normalidad.
- La consideración del desastre como un conjunto de sistemas relacionados entre sí es importante. Nos permite captar la complejidad del proceso. La investigación se transforma así en un amplio campo multidisciplinario. El método geográfico orientado hacia la ecología social puede indicar un camino. (Da Cruz, 2003:81).

De la Burocracia al Paradigma de Gobernanza en la Nueva Gestión Pública

Con la crisis del Estado de bienestar y de derecho, del modelo clásico burocrático, la baja calidad de los servicios públicos y el impulso de las olas reformadoras, desde los estudios de administración y políticas públicas; se planteó impulsar un nuevo paradigma, una nueva teoría o una nueva forma de gestión; que reinventando al gobierno se adaptase al cambio de la administración pública, es decir, un nuevo modelo que busque transformar al sector público modernizando su accionar y por ende las practicas gubernamentales, para así transformar la anacrónica y descontextualizada burocracia tradicional.

Desde la nueva gestión pública (New Public Management), al ser uno de los nuevos paradigmas o corrientes en gestación que justifican las reformas del Estado, utiliza los métodos y la lógica de la gestión privada para adaptarlos a las organizaciones públicas, cuyo objetivo es que haya una transición, evolución, modernización e innovación institucional en el sector público, por medio de instrumentos y técnicas gerenciales que han sido exitosos en el mercado, este modelo teórico tiene su origen en el management (gerencia o gestión pública) como arquetipo de la administración pública, reproduciendo de las organizaciones privadas sus mecanismos de gestión empresarial y adaptándolos a la gestión pública, direccionando la administración pública como una empresa prestadora de servicios y haciendo hincapié en la orientación operativa y productiva de las dependencias gubernamentales, para así obtener mejores productos o resultados desde una perspectiva neutra y empresarial, según Sonia Fleury "El nuevo gerencialismo (New Public Management, NPM) se basa en un conjunto de discusiones sobre la transición desde un paradigma burocrático de la administración pública hacia un nuevo paradigma gerencial que considere las transformaciones en el medio e incorpore instrumentos gerenciales probados con éxito en el mercado" (Fleury, 2002:11).

Partiendo de esta proposición, la nueva gestión pública, se centra entonces en el accionar del Estado y su desempeño en el sector público, desarrollando planes y políticas en la administración pública bajo una visión empresarial que son utilizados por las organizaciones privadas, donde la corriente gerencialista o neoempresarial ha sido la que mejor se ha impuesto como forma de gestión, transformando el esquema de intervención pública en el modo organizacional y el operar estatal, esto se logra sustituyendo la organización centralizada y jerarquizada por una organización de gestión descentralizada que eleve los niveles de eficiencia y eficacia administrativa, aislando la influencia ideológica de los partidos y los dirigentes políticos que gobiernan dentro de las dependencias administrativas por medio de la neutralidad y autonomía de la misma, donde se convierte al administrador en gerente o gestor y al ciudadano en cliente o consumidor, para así obtener (desde el enfoque de calidad) por medio de la modernización de las técnicas de suministro de servicios públicos en la prestación de bienes y servicios resultados o productos, que mejoren y eleven el rendimiento de las organizaciones públicas. Este modelo aporta entonces la implementación de métodos o políticas

preestablecidas y probadas con éxito en el sector privado, los cuales pueden facilitar las capacidades estratégicas del gobierno, para así contribuir a la evolución del Estado y garantizar la satisfacción de las demandas sociales, al respecto Wladimir Pérez asegura:

> En estos tiempos de cambios políticos a escala mundial, el llamado "managerialismo" o la gerencia se ha constituido en un instrumento para llevar a cabo variaciones en el orden administrativo del sector público, y con eso se evidencia la pérdida de influencia que han venido teniendo tanto los partidos como las ideologías dentro de la esfera pública. La Nueva Gestión Pública concibe como prioritario y fundamental la eficiencia y la eficacia administrativa para el logro de una buena calidad de los servicios que se prestan, dado que hoy en día, la Administración Pública está sometida a una mayor vigilancia por parte de la sociedad civil, lo cual garantiza un mayor desempeño y transparencia en el manejo de la cosa pública. (Pérez, 2013:193).

Frente a la incapacidad gubernamental establecida por el descontextualizado y anacrónico modelo clásico burocrático al que fue sometida la administración estatal y la ejecución de las olas reformistas para darle frente a la crisis del Estado; con la implementación de la nueva gestión pública como paradigma en gestación, esta última desde el enfoque gerencial solamente se centra en el accionar del Estado, para fortalecer la capacidad administrativa y de respuesta del gobierno, con el objetivo ofrecer los productos o resultados de manera más eficaz y eficiente, donde al efectuar políticas públicas, técnicas y estrategias modernizadoras en la acción gubernamental (tomadas del sector privado), se busca fortalecer la capacidad gerencial de la administración pública.

Si bien el paradigma gerencial logra reformar el sector público y restituir la capacidad de gestión del Estado, el mismo en lo que respecta a la vinculación de nuevos actores con la administración pública presenta disfunciones de tipo social, ya que al centrarse solo en la técnica gerencial, la economía, la eficiencia y la eficacia, como tendencia no logra establecer ni definir apropiadamente la manera de promover un nuevo tipo de participación, enlace o relación entre los ciudadanos y la estructura de gobierno, ni defiende los valores colectivos, políticos e ideológicos de la sociedad.

Es por ello que al reformarse el aparato administrativo del Estado, debe haber un contrapeso que adecue las condiciones políticas en la nueva gestión pública, centrándose en el análisis de la capacidad de gobernar (ya que el gobierno sigue ocupando el papel central de dirección de la sociedad), por lo tanto el proceso de gestión pública debe transitar a una nueva relación de dirección político-social que fortalezca la legitimidad y las capacidades directivas del propio Estado, planteando una forma de organización y participación mancomunada que cree una nueva correlación trilateral entre el Estado, la sociedad civil y el sector privado, es decir, que la orientación del servicio público se debe focalizar en la gobernabilidad de la administración pública.

Con el planteamiento de una nueva gestión pública, que refuerza las capacidades técnicas del gobierno, la gobernanza surge de la necesidad de reconstruir o recuperar la naturaleza pública y política de la administración estatal, para así constituir un sentido de dirección en el gobierno y crear un enlace entre el proceso gerencial y el proceso político de la administración pública, y a raíz de la percepción social negativa, producto de la incapacidad gubernamental fundada por el modelo clásico burocrático, la evolución de la administración pública debe responder de forma más participativa a las demandas crecientes de la colectividad, vinculándose de manera más directa con los actores sociales que giran en torno al espacio público, es decir, que la sociedad civil no tiene que adaptarse al Estado sino viceversa el mismo debe adecuarse a las nuevas formas de organización social, gobernando entonces más allá del gobierno, centrándose específicamente en el ciudadano y la participación ciudadana, por lo tanto, para superar las disfunciones del gerencialismo y redefinir la acción de gobernar, en la nueva gestión pública surge el paradigma de la gobernanza, el cual busca lograr la conjunción entre el Estado, la sociedad civil y las empresas privadas, plantando un espacio público deliberativo, en el cual dentro del proceso decisional de la administración pública deben estar simétricamente representados tanto los niveles de gobierno como las organizaciones privadas y civiles, para Wladimir Pérez:

> Así, la idea del Estado mínimo queda atrás, y se entra en la era en que la democracia deja de ser considerada como un impedimento formal para el logro eficiente y eficaz de decisiones económicas; en tal sentido, se comienza a hablar del "buen gobierno", y con la llegada de la teoría de la Gobernación (governance), se establece que la acción de gobernar debe ir más allá del gobierno, y ya no es sólo un problema de gobernabilidad, sino más bien una vía hacia la búsqueda de componentes y características que la nueva gobernación puede darle a la relación Estado-sociedad a través del entendimiento, y aquí la Administración pública juega un papel muy importante. (Pérez, 2026:66).

Cabe destacar que con el paradigma de la gobernanza no se busca suprimir al gobierno y a su forma de gobernar, sino todo lo contrario, fortalece la capacidad participativa y democrática del Estado, vinculándose de manera más directa con los intereses ciudadanos y colectivos, estableciendo programas mancomunados que satisfagan de manera conjunta las necesidades públicas y las demandas sociales, recalcando que el gobierno al ser el que tiene la responsabilidad pública es el decisor final en la implementación de las políticas públicas, por lo que se puede determinar que la gobernanza es el paradigma que responde a las disfunciones del gerencialismo y al modelo clásico burocrático, creando dentro de los niveles de la administración pública una vinculación e interacción directa con la sociedad civil y las empresas privadas, donde el gobierno no es el único actor en la resolución de las demandas sociales, sino que crea relaciones mancomunadas y delega tanto a las organizaciones sociales como privadas, mecanismos de participación y competencias compartidas, que busquen la calidad de los servicios públicos, la eficacia de la administración

pública y sin desaparecer la legitimidad del Estado lograr que el mismo sea más incluyente, de manera que se defiendan intereses colectivos en la prestación de bienes y servicios:

> Bajo esta visión, el "buen gobierno" no solo es aquel que respeta la ley, sino el que demuestra su capacidad directiva para producir los bienes y servicios públicos que justifican la existencia misma del Estado. Hoy, la huella de las instituciones en el siglo XXI se define por la legitimidad por resultados. La Administración pública abandona su carácter insular para adoptar modelos de transparencia radical y colaboración con la sociedad civil y el sector privado. El desafío actual trasciende la eficiencia procedimental: se trata de consolidar una innovación pública y digital que garantice la inclusión y el acceso universal a derechos básicos. En definitiva, la modernización del Estado en América Latina requiere hoy de un enfoque soberano que supere la adopción tardía de estándares externos y logre, finalmente, que la norma y la praxis institucional se encuentren en beneficio de la sociedad. (Pérez, 2026:66).

Hacia una gobernanza para la Reconstrucción y Prevención del Riesgo

La efectividad en la gestión la gestión pública exige una transición epistemológica y estratégica inaplazable desde el abandono definitivo de la visión "naturalista" del desastre entendiéndose el riesgo como una construcción social e histórica multicausal, en el caso venezolano como en todas las regiones del mundo, se ha dejado claro que el riesgo no es un evento fortuito o un castigo metafísico, sino que es resultado de procesos acumulativos donde la interacción asimétrica entre la sociedad y su entorno determina la magnitud de los daños después del evento o catastrofe, esta concepción permite identificar que las crisis no son agresiones externas de la naturaleza, sino subproductos intrínsecos de modelos de desarrollo y decisiones políticas que configuran la vulnerabilidad del territorio, es por ello que los estudios de las administraciones publicas paulatinamente se han ido transformando en lo que respecta al manejo de desastres hacia la gobernanza del riesgo, así lo explican Deysi Jerez y Rogelio Ramos:

> La evolución del estudio de los desastres, así como los cambios representativos en el discurso académico del riesgo, anteceden a la incorporación de nuevos conceptos que, como la gobernanza, hacen referencia a la dimensión social de la problemática, más allá de las dinámicas físico-naturales. El cambio de paradigma impulsado en las investigaciones sobre el tema en la primera mitad del siglo XX, pero puntualmente para Latinoamérica a finales de 1980, permitió abandonar paulatinamente la visión fisicalista de los desastres dentro del análisis académico, una cuestión pendiente en el discurso institucional. El enfoque social, como se conoce a este salto analítico-explicativo, se alimentó de diversas teorías y metodologías provenientes de las ciencias sociales y de enfoques que marcarían diferentes etapas del quehacer científico sobre la gestión del riesgo.
>
> Los estudios implementados en el ámbito de la intervención comunitaria abrieron paso a una serie de debates que cuestionaron el monopolio tecnocrático en la toma de decisiones para la gestión del riesgo. La academia, desde las ciencias sociales, se propuso aportar planteamientos metodológicos para la participación social crítica en el direccionamiento de políticas públicas, superando la participación representativa y los roles consultivos designados tradicionalmente a la ciudadanía. (Jerez y Ramos, 2022:215).

Por lo que se puede plantear una gobernanza ecológica la cual pueda revelar los "puntos ciegos" de la burocracia tradicional al integrar la vulnerabilidad como un proceso político-económico, no se trata solo de gestionar amenazas, sino de cuestionar las asimetrías que determinan quién tiene derecho a la seguridad ciudadana, visibilizando a los grupos silenciados por las disparidades de poder, y así transformar el espacio político en un terreno deliberativo donde el desacuerdo sea el motor de la transformación para reconfigurar los territorios sujetos del riesgo, es decir, que reconociendo estas asimetrías se puede transitar hacia un modelo de gobernanza verdaderamente proactivo, partiendo de que emergencia causada por los fenómenos naturales y la urbanización desorganizada demandan la adopción inmediata de este marco estratégico, transitándose de la respuesta reactiva hacia la gestión proactiva, lo que representa no solamente un cambio técnico, sino un replanteamiento de nuestra relación con el entorno socionatural desde la implementación de la gobernanza del riesgo, al respecto Ángel Rangel Sánchez asevera que:

> Si bien este paradigma alternativo sigue de alguna manera a distintas experiencias previas de gobernanza con múltiples actores interactuando en múltiples niveles en áreas como la salud, seguridad, finanzas, ambiente, etc.; las propuestas del IRGC y de Renn lograron incorporar un marco referencial y una metodología propia para apoyar la evolución de la gestión del riesgo hacia la *gobernanza del riesgo.* Lograron desarrollar un marco analítico holístico y un modelo normativo integral, que permite guiar a las estructuras institucionales y políticas para las acciones del Estado, la sociedad y la comunidad en asuntos de manejo de todo tipo de riesgos rodeados de incertidumbres, complejidad y/o ambigüedad. Sus proposiciones quedaron sintetizadas en tres principios básicos: comunicación e inclusión (interacción efectiva), integración (colectar y resumir conocimiento, valores y experiencia relevante) y reflexión (consideración reiterativa de los pros y los contras). (Klinke, 2012) (Renn, 2008) (Renn O. a., 2013) (Van Asselt, 2011)
>
> Un aspecto que a nuestro entender ha quedado claramente evidenciado dentro de la literatura existente sobre el tema, es que la *gobernanza del riesgo* no es simplemente una noción o un concepto que nace como

> resultado de la combinación de dos términos. Es resultado de la incorporación de la perspectiva de la gobernanza al campo de los riesgos (naturales, socio naturales o tecnológicos) acompañado de un trabajo transdisciplinario, para dar respuesta conceptual y normativa ante las limitaciones identificadas en la tradicional gestión centralizada, vertical y reactiva de los Estado en materia de riesgos complejos y ante la dinámica evolución de la vulnerabilidad. Gracias a ello, se dotó a la comunidad del riesgo de principios y valores más amplios y democráticos (Rangel, 2025:265).

A Modo de Conclusión

El desastre ocurrido el 24 de junio de 2026 representa un desafío sin precedentes para la reconstrucción estructural y social de Venezuela, este evento clasificado técnicamente como un doblete sísmico, implica que la infraestructura nacional no solo enfrentó una sacudida de gran magnitud (dos terremotos con un intervalo de apenas treinta y nueve segundos a diferencia de una réplica), el primer sismo actuó como un detonante dinámico que provocó la ruptura consecuente de un sistema de fallas adyacentes bajo tensión crítica, superando los coeficientes de seguridad de la mayoría de los activos estratégicos del país, trasladando la emergencia del plano puramente humanitario a una crisis de infraestructura que exige una valoración económica inmediata para la asignación estratégica de recursos.

Desde una perspectiva económica, la pérdida estimada de 37 mil millones de dólares debe analizarse como una erosión masiva y súbita del stock de capital expuesto del país, para dimensionar la magnitud de esta catástrofe, el evento sísmico de 2026 ha condensado en segundos el equivalente a más de 30 años de pérdidas desbordando cualquier mecanismo de contingencia preexistente, según la primera estimación analítica de daños ocasionados por los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela elaborado por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres arroja lo siguiente:

> La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), con el apoyo de Ingeniar CAD/CAE Ltda2. y ERN3, ha realizado una **primera estimación cuantitativa de los daños físicos directos ocasionados por ambos terremotos en edificaciones e infraestructura.** Los resultados indican que los daños en **edificaciones** (residenciales, comerciales, educativas, salud, institucionales e industriales) se estiman en alrededor del **3% del stock total expuesto** (equivalentes a $24 mil millones de dólares americanos), mientras que los daños en **infraestructura** (agua y saneamiento, telecomunicaciones, vías, ferrocarriles, energía, puertos, aeropuertos, petróleo y gas) se estiman en alrededor del **4% del stock total expuesto (**equivalentes a $13 mil millones de dólares americanos). **Estos valores, que suman $37 mil millones de dólares americanos,** corresponden exclusivamente a daños físicos directos sobre edificaciones e infraestructura y no incluyen pérdidas económicas indirectas, interrupciones de actividades productivas y de servicios, costos de atención de la emergencia, efectos en las cadenas de suministro, impactos sociales, ambientales o macroeconómicos, ni los costos asociados con la recuperación integral, reforzamiento estructural y reconstrucción. Por esta razón, el impacto económico total del desastre será previsiblemente superior al valor de los daños directos aquí estimados. (UNDRR, 2026:02).

La reconstrucción de las zonas afectadas no debe plantearse como el retorno al statu quo previo al desastre, sino como una oportunidad de implementar la gobernanza del riesgo, por lo que es imperativo aplicar estándares modernos de reforzamiento estructural para romper el ciclo de vulnerabilidad histórica, para que la efectividad de la inversión post-desastre se sustente en datos técnicos y modelos de riesgo detallados para los diagnósticos que surjan, por lo tanto las cifras de pérdidas económicas presentadas en esta evaluación no deben interpretarse como valores abstractos, sino como indicadores de la severidad del daño físico y el agotamiento de la vida útil remanente de los activos nacionales, de manera que la toma de decisiones gubernamentales exige una robustez metodológica que minimice la incertidumbre a partir de la relación trilateral Estado, sociedad civil y sector privado que plantea el paradigma de la gobernanza.

Referencias

Da Cruz, J. (2003). Ecología Social de los Desastres. Montevideo: Coscoroba Ediciones.

Fleury, S. (2002). Reforma del Estado. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo, Instituto Interamericano para el Desarrollo Social.

Jerez, D. y Ramos, R. (2022). La gobernanza del riesgo en América Latina y la dimensión política de los desastres. Estudios de la Gestión, No. 11 (enero-junio de 2022), 211-230.

Lavell, A. y Franco, E. (1996). Estado, Sociedad y Gestión de los Desastres en América Latina. En Busca del Paradigma Perdido. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Oficina de Naciones Unidas para la Reducción de Desastres. (2026). Estimación analítica de daños ocasionados por los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela.

Pérez, W. (2026). La Huella de las Instituciones. Reformas Administrativas en la Gestión Pública y Dependencia de la Trayectoria en América Latina. Carchi: Editorial ACACFESA SAS.

Pérez, W. (2013). La Nueva Concepción de la Administración Pública. Mérida, Venezuela: Codepre, Colecciones de Gobierno y Administración Pública del Gigep y Consejo de Publicaciones de la Universidad de los Andes.

Rangel, Á. (2025). La Gobernanza Proactiva del Riesgo de Desastre (GPRD), para gestionar el riesgo asociado a las Amenazas Naturales y Socionaturales en los Centros Urbanos del Gran Caribe-AEC [Tesis doctoral, Universidad Central de Venezuela]. Repositorio Institucional Saber UCV.

Velázquez, M. (2018). Desastres sociales: sismos, reconstrucción e igualdad de género. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Sociales. Revista Mexicana de Sociología 80, núm. especial (septiembre, 2018): 149-158.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 464 – 484
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/191

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y DESAFÍOS DE CONSERVACIÓN EN EL PATRIMONIO RELIGIOSO DE VENEZUELA: LECCIONES Y EVALUACIONES TRAS EL EVENTO SÍSMICO DEL 24 DE JUNIO DE 2026

Neptalí José BALZA AYAACH[1], Antonio MONTECALVO DI FIORE[2]

RESUMEN

Examinamos la vulnerabilidad estructural y los desafíos de conservación del patrimonio religioso en Venezuela tras el evento sísmico de tipo "doblete" registrado el 24 de junio de 2026, que afectó, de mediana a mucha gravedad, a 39 edificaciones en las diócesis de Caracas y La Guaira, desvelando la fragilidad de templos históricos construidos con técnicas antiguas como mampostería no reforzada o tapia. Desde la Vicaría de Infraestructura de la Arquidiócesis de Caracas se está implementando un plan de acción de cinco fases: evaluación rápida, evaluación detallada, elaboración de proyectos, ejecución de las reconstrucciones y seguimiento en el mantenimiento de las edificaciones. Este estudio es una muestra del avance de las tres primeras etapas. En Caracas, el 25% de las edificaciones sufrieron daños graves mientras que, en La Guaira, el 100% de las edificaciones sufrieron daños graves o muy graves, evidenciando que la Diócesis de La Guaira recibió el mayor impacto. A manera de muestra se detallan seis casos críticos observados: la Catedral de Caracas, la Rectoría de Nuestra Señora de la Merced, la Iglesia de San José de Ñaraulí (Cotiza), en Caracas; la Catedral de La Guaira, la Iglesia de San Sebastián de Maiquetía y el templo de Nuestra Señora de la Candelaria de Tarmas, en La Guaira. En estos casos de estudio se describen los daños observados, se identifican patrones de falla y se proponen lineamientos de intervención, que armonicen arquitectura y estructura, para que todos los espacios religiosos sean espacios seguros para las personas que los utilizan.

ABSTRACT

Structural vulnerability and conservation challenges in Venezuela's religious heritage: lessons and assessments following the June 24, 2026 seismic event

We examine the structural vulnerability and conservation challenges regarding religious heritage in Venezuela following the "doublet" seismic event recorded on June 24, 2026. This event caused moderate to severe damage to 39 buildings across the dioceses of Caracas and La Guaira, revealing the fragility of historic churches built using traditional techniques such as unreinforced masonry or *tapia*. The Infrastructure Vicariate of the Archdiocese of Caracas is implementing a five-phase action plan: rapid assessment, detailed assessment, project development, reconstruction execution, and ongoing maintenance monitoring. This study presents the progress made during the first three stages. In Caracas, 25% of the buildings sustained severe damage, whereas in La Guaira, 100% suffered severe or very severe damage, demonstrating that the Diocese of La Guaira bore the brunt of the impact. Six critical cases are detailed as examples: the Caracas Cathedral, the Rectory of Nuestra Señora de la Merced, and the Church of San José de Ñaraulí (Cotiza) in Caracas; and the La Guaira Cathedral, the Church of San Sebastián de Maiquetía, and the Church of Nuestra Señora de la Candelaria de Tarmas in La Guaira. These case studies describe the observed damage, identify failure patterns, and propose intervention guidelines that harmonize architecture and structure, ensuring that these religious sites are safe spaces for the people who use them.

Palabras clave: Patrimonio religioso, vulnerabilidad estructural, doblete sísmico, mampostería no reforzada, tapia, conservación patrimonial, gestión del riesgo sísmico, evaluación de daños.
Keywords: Religious heritage, structural vulnerability, seismic doublet, unreinforced masonry, rammed earth (tapia), heritage conservation, seismic risk management, damage assessment.

Introducción

Planteamiento y delimitación del problema

El evento sísmico de tipo doblete registrado el pasado 24 de junio de 2026 reconfiguró de manera abrupta el mapa de vulnerabilidad del patrimonio construido en la región centro-norte de Venezuela. Más allá de los efectos habitacionales e industriales, la afectación de casi un centenar de edificaciones eclesiásticas, con un núcleo crítico de templos declarados: Monumento Histórico Nacional, Bien de Interés Cultural, Centro Nacional de Conservación o similar, desveló la fragilidad de nuestras estructuras monumentales ante solicitaciones dinámicas de gran magnitud.

[1] Correo-e.: neptalibalza@gmail.com
[2] Correo-e.: montecalvo.arq@gmail.com

Justificación e importancia

Las edificaciones religiosas en general son espacios centrales para el desarrollo de una vida socio-personal saludable, adicionalmente las edificaciones religiosas coloniales y republicanas no solo representan hitos de la memoria histórica colectiva, piedad popular e identidad urbana, sino que constituyen complejos sistemas estructurales que desafían los paradigmas de la ingeniería civil moderna. Concebidos como han sido, bajo técnicas de mampostería no reforzada, tapias de tierra apisonada, ladrillos macizos y calicanto, estos templos carecen, en su mayoría, de la ductilidad necesaria para disipar energía sísmica. La coexistencia de grandes luces, fachadas esbeltas exentas de la estructura de la nave y torres campanarios de mampostería genera una respuesta dinámica heterogénea.

Objetivo general

Determinar la vulnerabilidad estructural y los desafíos de conservación en el patrimonio religioso de Venezuela

Objetivos específicos

- Describir los daños que han recibido edificaciones patrimoniales.
- Identificar patrones de falla tras el evento del doblete sísmico que pudieron causar o potenciar los daños o dificultar la respuesta ante las consecuencias de este evento.
- Proponer lineamientos de intervención que armonicen el respeto a la autenticidad arquitectónica con las exigencias irrenunciables de la seguridad estructural y la resiliencia urbana.

Métodos

Desde la Vicaria de Infraestructura de la Arquidiócesis de Caracas (ampliada a la Provincia Eclesiástica de Caracas) se ha establecido un plan de acción de 5 fases para evaluación, diagnóstico, elaboración de proyectos, ejecución y seguimiento, la descripción de las fases es la siguiente:

FASE 1: Fase de Evaluación Rápida y Acciones de Emergencia Post-Sismo.

El objetivo inmediato de esta fase es mitigar riesgos, salvaguardar la vida humana y comunicar claramente el estado de las edificaciones a la comunidad. En esta fase se procura el aseguramiento y resguardo; se establecen controles de acceso estrictos en las edificaciones afectadas para prevenir accidentes que involucren a los asistentes o al personal eclesiástico; se inspeccionan y evalúan los daños que existiesen; se determinan las condiciones de habitabilidad de cada edificación y se establece su nivel de vulnerabilidad o de riesgo de colapso; se señaliza visualmente el riesgo, utilizando el semáforo de Habitabilidad, colocando un distintivo visible (calcomanía) en la entrada principal de cada templo, codificado por colores para notificar a los feligreses sobre el estado de la estructura.

El semáforo de Habitabilidad es una metodología derivada del aprendizaje aportado por el IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales) de la UCV, y el CIV (Colegio de Ingenieros de Venezuela), recogida parcialmente en el documento **"Protocolo técnico Evaluación y Rehabilitación de edificaciones luego del terremoto, Fases 1, 2, 3 y 4, revisión 7"**. Durante un tiempo se utilizó la planilla física y/o la de la aplicación móvil Sismoayuda.ve, luego se ha realizado un tabulador propio para vaciar la información en una matriz adaptada a la realidad de este tipo de edificaciones. A fin de poder llevar a cabo las evaluaciones rápidas que corresponden a esta fase se ha constituido una Brigada Especial para atender edificaciones religiosas, identificada con el número 5LHV y constituida por el ingeniero Neptalí Balza, como jefe de Brigada, el arquitecto Antonio Montecalvo, la arquitecto Karina González, el ingeniero Yender Pico, la ingeniera Mary Claude Duque y el explosivista experto German Machado.

En el caso que nos ocupa, el semáforo de colores se ha utilizado para definir no sólo las condiciones de habitabilidad sino también el nivel de daño observado, considerando el nivel de complejidad de las intervenciones que se pueden requerir; se utiliza el color VERDE para las edificaciones que no han presentado daños o han presentado unos daños muy leves, por lo tanto son edificaciones habitables; el color AMARILLO para las edificaciones que han sufrido daños de mediana gravedad, y que requieren un intervención sencilla o de baja complejidad para su reparación y/o restauración, estas edificaciones se consideran edificaciones habitables con restricciones, en estos casos la restricción se impone hasta realizar la evaluación detallada, de ser necesario también el proyecto de reparación o reforzamiento y la ejecución de dicho proyecto; el color ROJO para las edificaciones que han sufrido daños graves y que requieren una intervención de alta complejidad para su reparación y/o restauración, estas edificaciones se consideran no habitables hasta realizar la evaluación detallada, el proyecto de reparación o reforzamiento y la ejecución de dicho proyecto; y el color ROJO combinado con NEGRO para las edificaciones que han sufrido daños muy graves y que por razones diversas, bien sea técnicas o económicas, se está recomendando su demolición.

En esta fase también se incluye el apuntalamiento y estabilización que considere necesario la brigada que realiza las evaluaciones iniciales, en algunos casos puede incluir la intervención inmediata con estructuras temporales de soporte en áreas críticas para evitar desplomes en edificaciones que presenten peligro inminente.

FASE 2: Fase de Evaluación detallada, Diagnóstico y Estudios Preliminares

Está fase está orientada a documentar el estado real de las edificaciones y definir una hoja de ruta técnica, apoyándonos en recursos internos y externos de la Arquidiócesis. Se realiza un informe detallado, procediendo al levantamiento de la información planimétrica, fotográfica e historiográfica de las edificaciones, especialmente de las edificaciones de valor

patrimonial, documentando particularmente problemas asociados al evento sísmico del 24 de junio de 2026; se estudian los materiales que se han utilizado en la construcción de cada edificación, lo cual es particularmente importante para edificaciones con fecha de construcción anterior al siglo XX; en los casos que se consideran necesarios se realizan ensayos no destructivos, con equipos como Esclerómetro (Martillo de Schmidt), Pachómetro (Ferromagnetismo) Ultrasonido, niveles y distanciómetros laser, etc., todo esto para no afectar la integridad física de estos edificios; también se define el perfil de los profesionales que cada edificación requiere para la siguiente fase, incluyendo el equipo de personas encargadas de gestionar el financiamiento de los trabajos, la canalización de las donaciones, las alianzas con la empresa privada y con los entes de cooperación internacional que pudiesen colaborar en la reconstrucción de las edificaciones.

FASE 3: Elaboración de Proyectos

Consiste en la ingeniería de detalle y la obtención de avales institucionales; elaboración de los proyectos de refuerzo o consolidación estructural además del proyecto de restauración arquitectónica, donde se requiera. Para esta fase se constituye la comisión ampliada de proyectos que cuenta con profesionales de distintas especialidades, inicialmente está conformada por el ingeniero Neptalí Balza, el arquitecto Antonio Montecalvo, el ingeniero estructural Carlos Luis Cosson, los ingenieros patólogos estructurales Iván Flores y Nicolas Labropoulos, el especialista en conservación del patrimonio artístico religioso José Juan De Paz, el arquitecto restaurador Jesús Galíndez, y la arquitecto paisajista Glenda Yépez, también tenemos al ingeniero Kit Miyamoto y su equipo como consultor para proyectos especiales. En esta fase también se tramita formalmente el aval patrimonial a los proyectos elaborados, cuando de edificaciones de valor patrimonial se trate, ante las instituciones competentes.

FASE 4: Ejecución de la Reconstrucción e Intervenciones arquitectónicas.

Es el momento de la intervención estructural, la consolidación de la edificación, la reconstrucción de los muros, el curado de grietas, la restitución de los sistemas de servicios básicos y eléctrico, la limpieza y recuperación de elementos, entre ellos los artesonados que puedan ser rescatados y reutilizados en la reconstrucción; también la restauración arquitectónica y artística, la recuperación de los elementos estéticos y decorativos de los templos, tales como vitrales, pisos y ornamentos originales.

FASE 5: Verificación Final, Monitoreo y Mantenimiento.

En esta fase se diseña y se comienza a ejecutar el Plan de mantenimiento preventivo, un protocolo de mantenimiento a largo plazo para mitigar el desgaste acumulado y proteger las estructuras históricas de futuras degradaciones.

Resultados

En Venezuela existen muchas edificaciones que tienen carácter patrimonial, la mayor parte de ellas cuentan con una declaratoria como Bienes de Interés Cultural, Monumentos Históricos Nacionales o similares, específicamente en el municipio Libertador que forma parte del territorio de la Arquidiócesis de Caracas existen 1.212 declaratorias formales como bienes patrimoniales, de todas estas el 7% corresponde a edificaciones religiosas (Ver Tabla N°1)

Tabla N°1, Edificaciones patrimoniales por tipología

	TIPO	TOTAL	%
1	EDIFICACIÓN	335	28%
2	VIVIENDA MULTIFAMILIAR	281	23%
3	VIVIENDA UNIFAMILIAR	184	15%
4	EDIFICACIÓN EDUCATIVA	89	7%
5	EDIFICACIÓN RELIGIOSA	84	7%
6	PASEOS Y BULEVARES	21	2%
7	PLAZAS	60	5%
8	PARQUES	25	2%
9	OTRAS	133	11%
		1212	

Fuente: Fundapatrimonio, 2026

Muchas de estas edificaciones son anteriores al terremoto del 27 de julio de 1967, evento que motivo la implementación de criterios sismorresistentes en el diseño y construcción de edificaciones en el territorio venezolano, por lo que mayoritariamente carecen de criterios sismorresistentes modernos en su diseño original, algunas han sido reforzadas estructuralmente, de manera parcial, luego de algún evento sísmico, especialmente luego de los eventos de 1900 y de 1967, puesto que los eventos anteriores dejaron daños de tan gran magnitud que muchas partes tuvieron que ser reconstruidas. En la mayoría de estos casos encontramos muros portantes de mampostería no reforzada de ladrillo, piedra o tapia, que, si bien resisten muy bien los esfuerzos de compresión vertical, ante esfuerzos horizontales, como movimientos sísmicos, se comportan de manera sumamente frágil. La geometría tampoco juega a favor de las edificaciones, por un lado, muros y torres de campanarios muy altas en relación con la ausencia de arriostramientos y, por otro lado, pesados arcos, cupulas, bóvedas, pináculos y artesonados, en las zonas más altas, que tienen una mayor amplificación de la aceleración y desplazamientos laterales. Por último, pero no menos importante, tenemos la degradación acumulada por fallas en la conservación de las edificaciones, bien sea por ausencia de un plan de mantenimiento, por desconocimiento de cómo se deben hacer las cosas o, en la mayoría de los casos, por falta de recursos financieros para afrontar la labores de mantenimiento más costosas, en la evaluación rápida realizada encontramos

que casi la totalidad de las edificaciones presentabas problemas de filtraciones húmedas, causados por múltiples situaciones, productos impermeabilizantes caducados, pintura envejecida, tejas rotas, desplazadas o inexistentes, tuberías de aguas blancas, negras y de lluvia tapadas o rotas, vitrales o ventanas rotas, nivel freático alto, es decir, todas las fallas por humedad posibles están actuando sobre estas edificaciones, lo que progresivamente afecta la capacidad de estos edificios, y en realidad de cualquier edificio, para responder a esfuerzos mecánicos imprevistos.

Diagnóstico de Daños

A partir del doblete sísmico del 24 de junio se han inspeccionado 51 edificaciones en el conjunto de las Diócesis de Caracas (municipios Libertador, Chacao, Baruta y El Hatillo), La Guaira (municipio Vargas) y Petare (municipio Sucre), de estas, 42 edificaciones sufrieron afectaciones de mediana a muy alta gravedad, es de hacer notar que estas 42 edificaciones representan el 82,35%, sin embargo, las 51 edificaciones inspeccionadas fueron seleccionadas con un marcado sesgo, puesto que se han visitado las edificaciones correspondientes a las Parroquias que han solicitado una inspección, bien sea que lo haya solicitado el párroco correspondiente o que haya sido solicitado por instituciones como el Instituto de Patrimonio Cultural o su brazo ejecutor en el municipio Libertador, Fundapatrimonio. En la Tabla N°2 se puede observar la lista completa de las edificaciones inspeccionadas.

En la misma Tabla N°2 se observa que treinta y tres (3) iglesias no pueden realizar ningún tipo de actividad dentro de sus templos, por lo que las misas y otros oficios se están realizando en plazas, capillas o espacios, abiertos o cerrados, cercanos.

Desagregando un poco más esas 51 edificaciones encontramos que dos (2), el 3,92% presentan una valoración en ROJO con NEGRO, diecisiete (17), el 33,33%, presentan una valoración en ROJO, veintitrés (23), el 45,09%, presentan una valoración en AMARILLO y nueve (9), el 17,54%, presentan una valoración en VERDE. En la Tabla Nro. 3 se puede observar esta desagregación por diócesis.

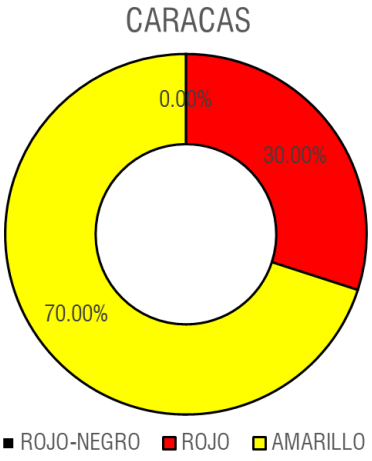
Tabla N°3, Resumen por Diocesis de Edificaciones con Evaluación Rápida

VALORACION CIV/ANIH	TOTAL	CARACAS	LA GUAIRA	PETARE
ROJO-NEGRO	2	0	2	0
ROJO	17	9	8	0
AMARILLO	23	21	1	1
VERDE	9	8	1	0
	51	38	12	1

Fuente: Elaboración propia

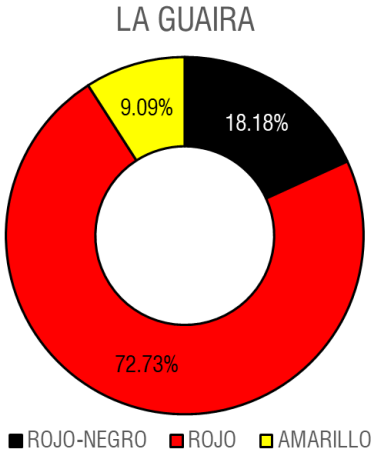
Si observamos solo las edificaciones con daños de mediana a muy alta gravedad (Amarillo a Rojo-Negro), resulta interesante comparar la Arquidiócesis de Caracas con la Diócesis de La Guaira, considerando que han sido las dos diócesis más afectadas de Venezuela, en los Gráficos N°1 y N°2, se evidencia que en la Diócesis de La Guaira se valoró un (1) templo en AMARILLO, el 9,09%, mientras que el 72,73%, es decir 8 templos, se valoraron en ROJO y dos (2) edificaciones, el 18,18% se valoraron en ROJO-NEGRO, mientras que en la Arquidiócesis de Caracas el 70% de los templos, veintiuno (21) en total están valorados en AMARILLO y el 30%, nueve (9), se han valorado en ROJO, ratificando que el impacto mayor se recibió en el estado La Guaira.

Grafico N°1: Valoraciones medianas a muy graves en Caracas



Fuente: Elaboración propia

Grafico N°2: Valoraciones medianas a muy graves en La Guaira



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°2, Edificaciones con evaluación rápida (al 22 de agosto de 2026)

#	PARROQUIA	# INSP	FECHA DE INSPECCION	INSPECTORES	VALORACION CIV/ANIH	DIOCESIS	UBICACIÓN	EN USO
1	Nuestra Señora Del Monte Carmelo	101	26-Jun-26	AM + NB	VERDE	Caracas	Av. El Paseo, N° 96, Urb. Los Rosales	Sí
2	Nuestra Señora Del Perpetuo Socorro (Paguita)	102	27-Jun-26	NB + AM + CM	AMARILLO	Caracas	Plaza Pagüita, Avda. Sucre. Catia	No
4	Nuestra Señora Del Rosario Antimano	103	27-Jun-26	NB + AM + CM	AMARILLO	Caracas	Calle Real de Antímano	No
7	Sagrada Familia de Nazaret y San Josemaría Escrivá	104	27-Jun-26	NB + AM	VERDE	Caracas	Calle La Solera, Urb. La Tahona	Sí
6	San Benito Abad	105	27-Jun-26	NB + AM + CM	VERDE	Caracas	Santuario San José del Ávila	Sí
3	San José - Chacao	106	27-Jun-26	NB + AM	AMARILLO	Caracas	Plaza Bolívar, Chacao	No
5	San Jose de Ñarauli - Cotiza	107	27-Jun-26	NB + AM + KM*	ROJO	Caracas	Av. Fuerzas Armadas, Esq. San Enrique	No
8	Basílica Santa Teresa y Parroquia Santa Ana	108	29-Jun-26	NB + AM*	AMARILLO	Caracas	Esq. de Santa Teresa, El Silencio	No
9	Catedral Metropolitana de Santa Ana	109	02-Jul-26	NB + MLF + EM	ROJO	Caracas	Torre a Gradillas, Plaza Bolívar, Sector/Urb Catedral	No
10	Nuestra Señora de la Encarnación de El Valle	110	08-Jul-26	NB + CM	ROJO	Caracas	Av. Intercomunal de El Valle	No
11	Nuestra Señora De Fátima	111	11-Jul-26	NB	AMARILLO	Caracas	Av. Este 12, No. 285, El Conde	No
12	Nuestra Señora Del Rosario de Curucay	112	11-Jul-26	NB	AMARILLO	Caracas	Macarao	Sí
13	San Pablo El Ermitaño - El Paraíso	113	11-Jul-26	AM + KG	AMARILLO	Caracas	Av. Páez cruce con Callejón Loyola, El Paraíso	Sí
14	Niño Jesús y Madre Cabrini - Pérez Bonalde	114	13-Jul-26	NB + AM	AMARILLO	Caracas	Calle Colombia, entre 5ta y 6ta Av., Nueva Caracas, Catia	No
15	Santos Ángeles Custodios - Lomas de Urdaneta	115	13-Jul-26	NB + AM	AMARILLO	Caracas	Entre bloque 2 y bloque 9 , Lomas de Urdaneta. Catia	No
16	Nuestra Señora De Lourdes - San Martín	116	14-Jul-26	NB + AM + KG	ROJO	Caracas	Av. San Martín, Esquina de Palo Grande, Plaza Italia	No
17	San Juan Bautista - Capuchinos	117	14-Jul-26	NB + KG	AMARILLO	Caracas	Plaza Capuchinos	Sí
18	Catedral (Ermita de Nuestra Señora del Carmen)	201	15-Jul-26	NB + AM	ROJO	La Guaira	Calle Trinchera, El Guamacho, Casco Histórico	No
19	Catedral de San Pedro Apóstol de La Guaira	202	15-Jul-26	NB + AM	ROJO	La Guaira	Calle San Juan de Dios, Casco Histórico	No
20	San Oscar Arnulfo Romero y Santuario Diocesano San José Gregorio Hernandez	203	15-Jul-26	NB + AM	ROJO	La Guaira	Urbanización Playa Grande, en Catia La Mar	No
21	San Sebastian de Maiquetía	204	15-Jul-26	NB + AM	ROJO	La Guaira	Frente a la Plaza Lourdes en la Calle Real de Maiquetía	No
22	Rectoría de Nuestra Señora de la Merced	118	17-Jul-26	NB + AM + KG + KM*	ROJO	Caracas	Esquina de Las Mercedes	No
23	San Francisco Javier	119	17-Jul-26	NB + AM	AMARILLO	Caracas	Calle Principal de Lídice	No
24	Santa Rosalía de Palermo	120	17-Jul-26	NB + AM + KG	AMARILLO	Caracas	Santa Rosalía a Candilito	No
25	Parroquia Nuestra Señora del Carmen - Petare	301	18-Jul-26	AM + KG	AMARILLO	Petare	Sectro El Carmen	Sí
26	El Sagrado Corazón de Jesús - La Hoyada	121	20-Jul-26	NB + AM	AMARILLO	Caracas	Av. Fuerzas Armadas, Esq. Corazón de Jesús, La Hoyada	No
27	Nuestra Señora de Altagracia: Templo parroquial	122	20-Jul-26	NB + AM + KG	ROJO	Caracas	Esq. Altagracia, detrás del BCV	No
28	Basílica de San Pedro Apóstol	123	21-Jul-26	AM + NB	VERDE	Caracas	Avda. Universitaria. Los Chaguaramos,	Sí
29	San Juan María Vianney - La Silsa	124	21-Jul-26	NB + CM	ROJO	Caracas	Primer Plano, Barrio 5 de Julio, La Silsa, Catia	Sí
30	Santa Rosalía de Palermo - El Hatillo	125	21-Jul-26	NB	ROJO	Caracas	Plaza Bolívar, El Hatillo	No
31	Nuestra Señora De La Luz	126	25-Jul-26	NB + AM + KG	AMARILLO	Caracas	Av. Intercomunal, al lado del Hospital Periférico de Coche	No
32	San Alfonso María de Ligorio - El Pinar / Santuario de la Coromoto	127	25-Jul-26	NB + AM + KG	AMARILLO	Caracas	Av. Lucas Manzano, Urb. El Pinar, El Paraíso	Sí
33	Santuario Nacional Expiatorio Siervas del Santisimo Sacramento	128	25-Jul-26	NB + AM + KG	AMARILLO	Caracas	A 30 metros de la Plaza La Concordia	Sí
34	Nuestra Señora del Rosario - Baruta	129	31-Jul-26	NB + AM	AMARILLO	Caracas	Calle Salón con calle Sucre frente Plaza Bolívar, Baruta	No
35	Basílica Menor Santa Capilla	130	01-Aug-26	NB + AM + KG + YP + MD	AMARILLO	Caracas	Basílica Menor Sta. Capilla: Av. Urdaneta ,Esq. Sta. Capilla	No
36	La Divina Pastora	131	01-Aug-26	NB + AM + KG	AMARILLO	Caracas	Pastora a Torrero, La Pastora	No
37	Santuario Arquidiocesano de la Santa Cruz y Nuestra Señora de La Candelaria	132	01-Aug-26	NB + AM + KG + YP + MD	AMARILLO	Caracas	Plaza La Candelaria, La Candelaria, Av. Urdaneta	Sí
38	Santo Cristo - La Vega	133	04-Aug-26	NB + AM + KG	ROJO	Caracas	Casco Central de La Vega, Plaza Bolívar	No
39	Templo de San Francisco	134	14-Aug-26	AM	VERDE	Caracas	Av. Universidad, Esq. San Francisco	Sí
40	Nuestra Señora Del Rosario de Fátima - Las Minas de Baruta	135	15-Aug-26	NB	VERDE	Caracas	Calle Principal, Las Minas de Baruta	Sí
41	Santo Tomás Apóstol - La Trinidad	136	15-Aug-26	NB	VERDE	Caracas	Calle San Ernesto, Urb. Sorocaima	Sí
42	APEP Centro de Formación, La Soublette	205	16-Aug-26	AM	ROJO-NEGRO	La Guaira	Plaza el Carmen, en La Soublette, Catia La Mar	No
43	Capilla de Nuestra Señora de Coromoto (Capilla filial de Sagrado Corazón de Jesús)	206	16-Aug-26	AM	ROJO-NEGRO	La Guaira	Catia La Mar	No
44	Nuestra Señora de Coromoto, Guacararumbo, La Escolanía	207	16-Aug-26	AM	AMARILLO	La Guaira	Calle Principal de Guaracarumbo, parroquia Urimare	Sí
45	Nuestra Señora de la Candelaria de Tarmas	208	16-Aug-26	AM	ROJO	La Guaira	Frente a la plaza Bolívar de Tarmas	No
46	Nuestra Señora del Carmen, La Soublette	209	16-Aug-26	AM	ROJO	La Guaira	Plaza el Carmen, en La Soublette, Catia La Mar	No
47	Sagrado Corazón de Jesús, Sector La Páez	210	16-Aug-26	AM	ROJO	La Guaira	Catia La Mar, diagonal a la Plaza Mayor de La Páez	No
48	San José Obrero, Mamo	211	16-Aug-26	AM	VERDE	La Guaira	Calle principal de Mamo, Catia La Mar	Sí
49	San José, Carayaca	212	16-Aug-26	AM	ROJO	La Guaira	Frente a la plaza Bolívar de Carayaca	No
50	María Auxiliadora	137	22-Aug-26	NB + AM + KG	AMARILLO	Caracas	Esquina de Salesianos, Av. Andres Bello	No
51	Altagracia: Capilla Santísima Trinidad	138		FUNDAPATRIMONIO	VERDE	Caracas	Av. Panteón, esquina La Fe, parroquia Altagracia	Sí
Total					51			

Fuente: Elaboración propia

Leyenda (Abreviaciones):

AM: Antonio Montecalvo, CM: Carlos Márquez, EM: Eduardo Miranda, KG: Karina González, KM: Kit Miyamoto y su equipo, MD: Mary Duque, ML: Marianela Lafuente, NB: Neptalí Balza, YP: Yender Pico

*: Se incorporó a partir de la segunda inspección

Casos de estudio

A los efectos de este estudio se toman, a manera de muestra, seis templos que conjugan el carácter patrimonio religioso y el de vulnerabilidad estructural ante la gravedad de los daños observados en los mismos, todos resultan ser casos de alta complejidad, tres ubicados en la Arquidiócesis de Caracas y tres en la Diócesis de La Guaira: La Catedral Metropolitana de Santa Ana (Catedral de Caracas), frente a la Plaza Bolívar; La Iglesia de San José de Ñaraulí, en Cotiza; la Rectoría de Nuestra Señora de la Merced, diagonal a la plaza Juan Pedro López, del Banco Central de Venezuela, en Caracas; y en La Guaira: la Catedral de San Pedro Apóstol (Catedral de La Guaira); la Iglesia de San Sebastián en Maiquetía; y la Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria de Tarmas.

La Catedral Metropolitana de Santa Ana (Catedral de Caracas)

La Catedral Metropolitana de Santa Ana o Catedral de Caracas, dedicada como tal en 1637 cuando el Obispado fue trasladado de Coro a Caracas, ha sufrido importantes transformaciones a lo largo de su historia a causa, principalmente, de los daños sufridos por distintos terremotos en estos cuatro siglos: el primero de ellos el terremoto de San Bernabé del 11 de junio de 1641 (FUNVISIS, 2022), en la Figura N°1 se observa la planta de la reconstrucción de 1661, que luego fue derribada parcialmente por los terremotos del 21 de octubre de 1766, el más importante del siglo XVIII, y por el conocido terremoto del 26 de marzo de 1812 (Dávila, 2011), en este último fueron tales los daños que fue necesario rehacer prácticamente la antigua Catedral. En 1933 se restauró una vez más, obra llevada a cabo por el ing. Gustavo Wallis (Gasparini & Duarte, 1989). La Catedral de Caracas quizás es el edificio religioso que ha sufrido más transformaciones durante su existencia en Venezuela.

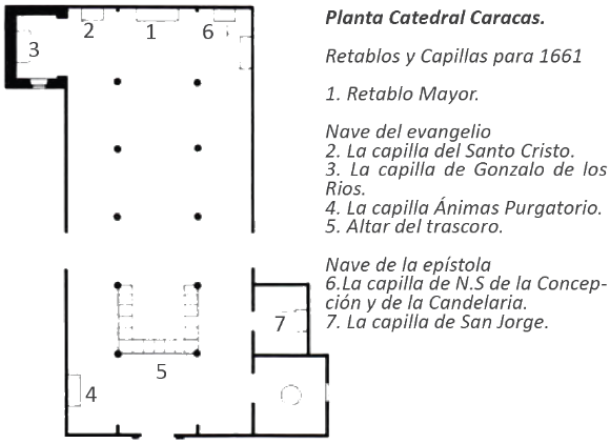


Figura N°1: Planta arquitectónica para 1661 (Fuente: (Dávila, 2011))

En la actualidad es una edificación de Estilo neoclásico y planta basilical de cinco naves, dos naves menores de cada lado y una cúpula sobre el altar mayor o presbiterio, se encuentra orientado en dirección oeste-este. Además, cuenta con nueve capillas, siete de ellas laterales (Ver Figura 2). Combina en su estructura elementos de mampostería del siglo XVII con modificaciones estructurales del siglo XX.

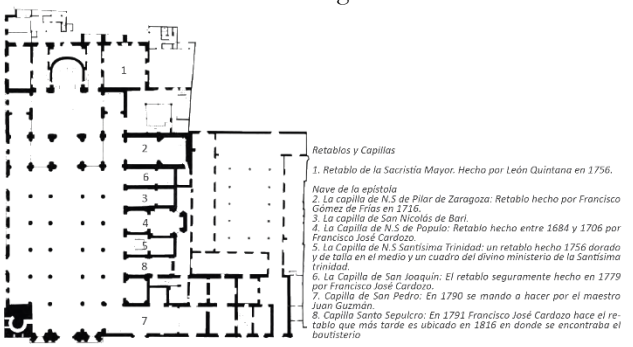


Figura N°2: Planta arquitectónica actual (Fuente: (Dávila, 2011))

Esta catedral metropolitana se inspeccionó informalmente la misma primera noche del día del doblete sísmico, luego se regresó en varias oportunidades y formalmente se le hicieron dos evaluaciones rápidas, una el 2 de julio y otra el 3 de agosto, en la del 2 de julio participaron, además de nuestro equipo, los ingenieros Marianela La Fuente, doctora en ingeniería y miembro de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, y Eduardo Miranda, miembro del Centro de Ingenieria sísmica John A, Blume de la Universidad de Stanford (Ver Figura N°3).



Figura N°3: Ing. Marianela Lafuente, segunda, Ing. Valentina Páez, tercera, Ing. Neptalí Balza, cuarto, Ing. Eduardo Miranda, quinto, y P. Juan Carlos Silva, octavo, todos de izq. a der.

Desde el exterior se contempla que la torre campanario, situada en la parte izquierda de la fachada del templo, sufrió

fracturas en sus elementos y componentes de mampostería (Ver Figura 4). Una vez dentro del templo en la nave lateral izquierda se visualiza falla en parte de la techumbre de la nave lateral izquierda con pérdida de su estabilidad en su plano y riesgo de colapso. Este techo estaba apoyado lateralmente junto a la torre campanario, la cual en su desplazamiento horizontal causado por el doblete sísmico, trajo como consecuencia la separación de los apoyos del techo.



Figura N°4 (Fuente: Neptalí Balza)

En la Capilla San Pedro, numerada con un 7 en la Figura N°2 (primera entrando a la derecha en el templo), se observa que existió un desplazamiento del muro portante lateral, que a su vez constituye parte de la fachada Oeste del conjunto del templo; en consecuencia, por servir también de apoyo a la techumbre mudéjar, que sólo se encuentra sobre el presbiterio de esta Capilla y es única, no sólo por su estilo sino por ser la única que se ha conservado después de tantas transformaciones, tiene un desplazamiento vertical considerable en la parte que se encuentra apoyada sobre el muro de carga, particularmente notable en la esquina sur-oeste, con amenaza de colapso (Ver Figuras N°5, N°6 y N°7).

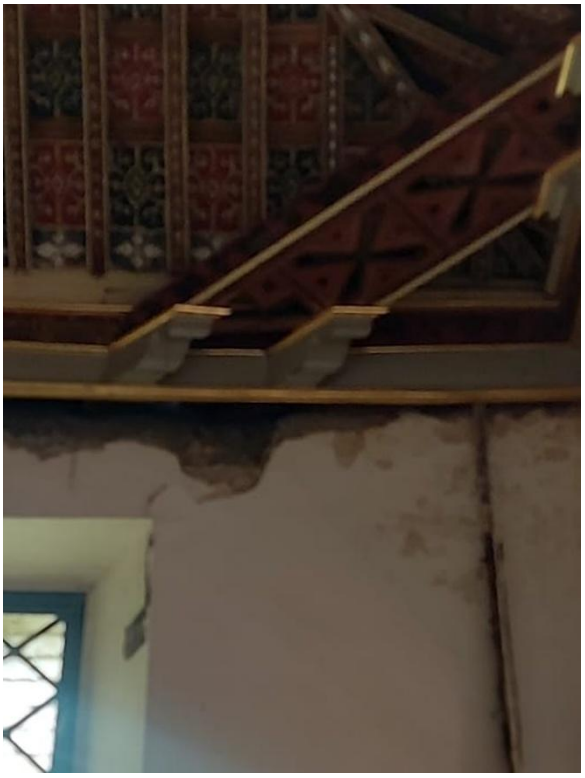


Figura N°5 (Fuente: Neptalí Balza)



Figura N°6 (Fuente: Neptalí Balza)



Figura N°7 (Fuente: Neptalí Balza)



Figura N°8: Capilla de San Pedro (Fuente: Neptalí Balza)

En los arcos y bóvedas, específicamente en las claves (dovelas centrales) se observan fallas y grietas típicas por aperturas de los arcos. Adicionalmente, en la falsa bóveda que hace de plafonado decorativo al comienzo de la nave lateral izquierda sufrió un desprendimiento a causa de la falla de la losa de techo de la misma nave descrita anteriormente.

El Frontón de la fachada (remate triangular en la parte superior) presenta inclinación hacia el frente. Este remate está construido en mampostería de ladrillos macizos de la época. Está coronado por una cruz metálica que se nota que ha sido reforzada en su sujeción a la mampostería en tiempos recientes. Aunque no se desprendió la cruz, ni cayó al vacío, su inercia, causada por el movimiento sísmico afectó severamente toda la masa del frontón triangular en su verticalidad.

En el caso de la Capilla de San Pedro, y en de la falsa bóveda, se ha tenido que realizar un apuntalamiento tridimensional para garantizar la estabilidad de los techos y alivianar la carga sobre los muros (Ver Figuras N°8 y N°9) mientras se realiza el diseño de los refuerzos estructurales, que podrán permitir que estos espacios de culto sean nuevamente espacios seguros para las personas.



Figura N°9: Falsa bóveda lado campanario (Fuente: Neptalí Balza)

Iglesia rectoral de Nuestra Señora de la Merced

El templo que pertenece a esta rectoría está situado en la Av. Oeste 5 con Av. Norte 2, esquina de las Mercedes de la Parroquia Altagracia del Municipio Libertador. Su construcción se remonta a 1614 como una ermita que fue totalmente destruida y luego reconstruida después del sismo de 1641. En 1766, después del catastrófico terremoto de San Bernabé, del 21 de octubre, la Virgen de Las Mercedes fue proclamada como abogada de los terremotos y el Ayuntamiento dispuso como gratitud por la salvación de la ciudad en tan peligroso trance, solemnes fiestas públicas. También sufrió serias afectaciones por el terremoto de 1812 y en 1857 se hizo una nueva reconstrucción con base rectangular y tres naves con estilo neoclásico. Su fachada fue terminada en 1885, obra del Ing. Juan Hurtado Manrique, que se conserva en la actualidad. En 1891 el culto del templo pasó a los PP. Capuchinos quienes la conservan actualmente (Tariffi & Rosi de Tariffi, 1950). Una vez más en el año 1900, el llamado terremoto de Cabito (FUNVISIS, 2022) afectó su estructura y sólo hasta 1935 es que se pudo concluir definitivamente la nueva reconstrucción-restauración de este templo para que el 8 de diciembre de ese mismo año tuviera lugar la solemne inauguración y bendición del templo.

Como es de suponer, tantas reconstrucciones a través de los siglos hacen que podamos encontrar una diversidad de materiales y tipos constructivos, desde los muros portantes de tapias laterales en la dirección de la nave norte-sur, como el revestimiento de cemento martillado o concreto abujardado en los acabados interiores y la losa del coro en concreto armado.

Las torretas situadas en ambos lados de la fachada principal son de mampostería de ladrillos macizos de la época. Consecuencia del doblete sísmico y la diferencia de rigideces de los elementos adyacentes, se produjeron daños en ambas torres de campanarios, pero de manera severa en la torre de la esquina sur-este del templo (lado derecho de la fachada, ver Figura 10), comprometiendo severamente la estructura en esa sección (ver Figuras N°10, N°11 y N°12), concretamente en los muros portantes de la torreta Sur-este que deja ver una grieta de 7,5 cms de separación, lo cual evidencia un peligro de colapso. Se observan grietas importantes también en la clave de los arcos en toda esa área de la edificación, así como en los remates del campanario.



Figura 10 (Fuente: Antonio Montecalvo)



Figura 11: Fractura en sección de la torre Este



Figura N°12: Desplazamiento de 7,5 cms

(Fuente de ambas fotos: Antonio Montecalvo)

Los marcos de las tres puertas principales se encuentran deformados por el movimiento de los dinteles en arcos. A través del cielo raso (plafones artesonados en forma de casetones) se evidencia separaciones de las losas y los elementos estructurales que la sostienen, con la consecuente actual filtración de aguas de lluvias.

Los problemas que presenta este templo son de los de mayor complejidad entre los templos afectados, para atenderlo contamos con el apoyo del Ing. Kit Miyamoto y su equipo, quienes amablemente están colaborando en la toma de algunas decisiones (Ver Figura N°13).



Figura N°13: De izq. a der. Ing. Silvana Dragone, Ing. Andrea Calles, Ing. Kit Miyamoto, Arq. Antonio Montecalvo e Ing. Neptalí Balza (Fuente: Karina González)

Mientras se realiza un proyecto definitivo de refuerzo estructural, se ha decidido apuntalar los arcos y realizar un apuntalamiento tridimensional con hasta 16 elementos verticales para la primera losa de la torreta Sur-este y otros 16 para la segunda losa de la misma torreta, para promover la estabilidad. En las figuras N°14, N°15, N°16 y N°17, se observa cómo se van colocando los puntales sencillos, quedando a la espera de la colocación del apuntalamiento tridimensional. Adicionalmente se esta gestionando la colocación de lonas para evitar que ingrese agua de lluvia, especialmente por las grietas que se encuentran entre las cubiertas y los muros.



Figura 14: Apuntalamiento primer nivel (parcial)

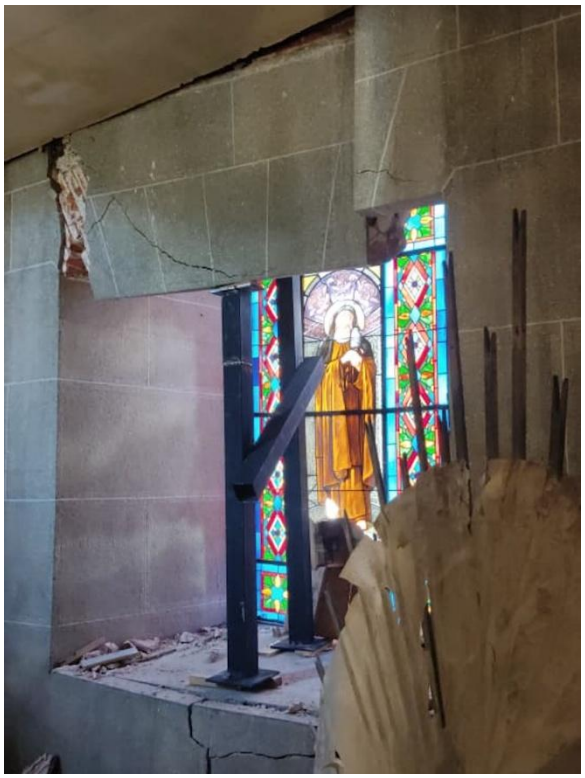


Figura N°15: Apuntalamiento segundo nivel (parcial)

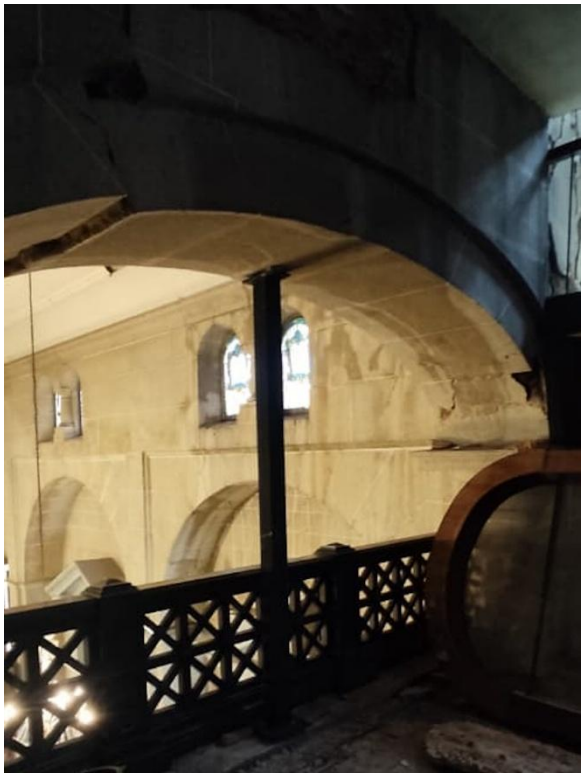


Figura 16: Apuntalamiento segundo nivel (parcial)

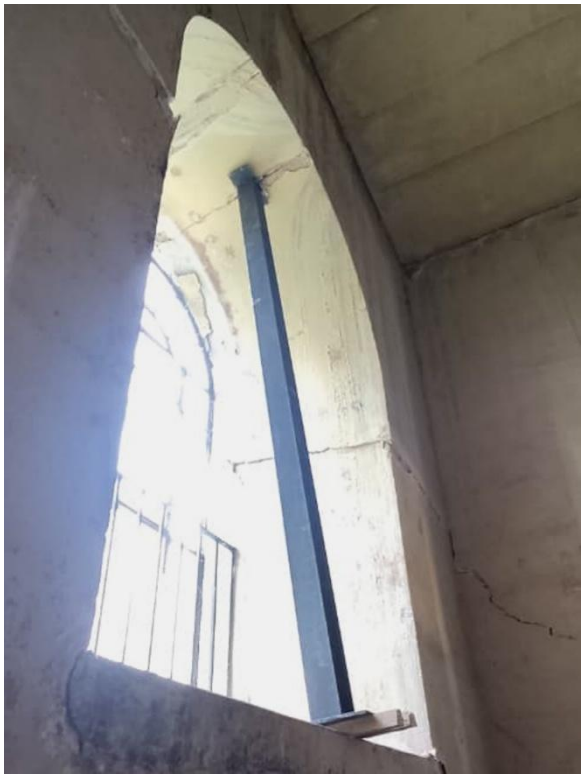


Figura N°17: Apuntalamiento tercer nivel (parcial)
(Fuente de estas 4 fotos: Antonio Montecalvo)

En este caso, que es de alta complejidad se ha realizado un escaneo tridimensional de toda la edificación para poder diseñar una solución de refuerzo estructural eficiente y amigable con el carácter patrimonial del templo, En la Figura 18 se observa una captura de pantalla de la aplicación TruView de Leica que nos permite visualizar el levantamiento, que ahora se debe transformar en planimetría CAD para que los ingenieros seleccionados puedan realizar de la mejor manera posible su trabajo.

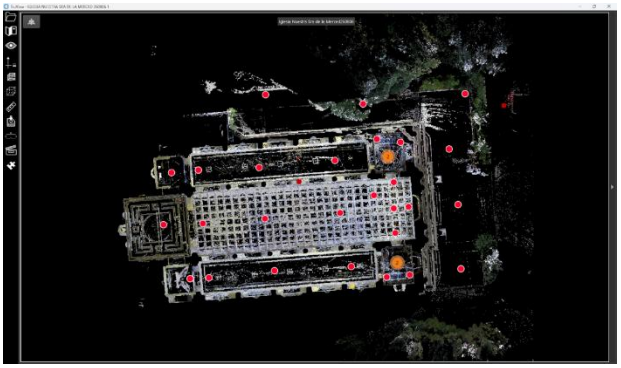


Figura 18 (Fuente: Intelectra)

Iglesia de San José de Ñaraulí, en Cotiza

La Iglesia parroquial San José de Ñaraulí, conocida popularmente como la iglesia de Cotiza, fue declarada oficialmente Monumento Histórico Nacional en 1963 y Patrimonio Histórico Arquitectónico en 1973, se encuentra en la Av. Norte 9, entre las esquinas de San Enrique a Telares, Parroquia San José del Municipio Libertador. El sector originalmente era conocido como el nombre de la Sabana de Ñaraulí, que es el nombre que sigue asociado al de la parroquia eclesiástica. Después del sismo del 26 de marzo de 1812, que afectó gravemente la Catedral de Caracas, el arzobispo Coll y Prat trasladó provisionalmente su sede metropolitana junto con el Cabildo eclesiástico a este lugar, aunque el templo actual el posterior a esta fecha, cuando el 2 de enero 1889 el presidente Rojas Paúl decretó la construcción con el diseño actual. Tiene en su patrimonio un reloj situado en la torre derecha (sur-este) de cuatro esferas de 180 cms de diámetro que perteneció a la Catedral de Caracas (ver Figura N°19), así como tres campanas imponentes de bronce, fundidas en Inglaterra por la célebre casa de fundición C&G Mears-Founders y uno de los seis órganos tubulares que llegaron a Venezuela a finales del siglo XIX, fabricado por el célebre organero francés *Aristide Cavallié-Coll* (se observa al fondo en la Figura N°20).



Figura N°19: Relojes que estuvieron en la Catedral de Caracas

La Iglesia de San José de Ñaraulí muestra algunos de los daños más impactantes post eventos sísmicos, por el colapso total de la cubierta de madera de la nave derecha y parcialmente el de la nave izquierda (ver Figuras N°20 y N°21



Figura N°20: Colapso de la nave derecha (Fuente: Luis García)

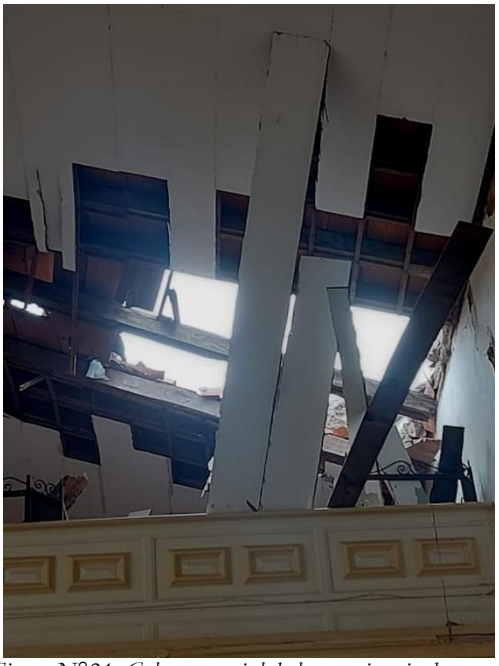


Figura N°21: Colapso parcial de la nave izquierda (Fuente: Neptalí Balza)

Estos techos colocados sobre cuartones de madera (pares) están apoyados en los muros de carga de tapia laterales de la iglesia. El doblete sísmico produjo el movimiento relativo de los muros de carga de altura 12 mts aproximadamente que servían de apoyo a los pares de madera. En la Figura N°22 observamos parte de las vigas de madera que soportaban la losa de techo, con claridad vemos cómo se encontraban apenas apoyadas en forma de punta en el extremo y empotrada en el mismo muro portante, contando muchas de ellas con un apoyo menor a 8 cms; esta deficiencia sumada a graves problemas por humedad en el mismo extremo de los pares, hizo que las vigas perdieran su apoyo y se desplomaran.



Figura N°22: Pares de la nave derecha colapsada (Fuente: Neptalí Balza)

Afortunadamente en el momento del evento, la misa había apenas terminando y las pocas personas que quedaban en el templo pudieron desalojar sin problemas.

Otro caso grave lo observamos en la torre izquierda de la fachada. Estas torres carecen de elementos estructurales, fueron levantados solo con ladrillos macizos colocados hábilmente para darle forma a las torres y se encuentra en una situación de compromiso estructural total (ver Figuras N°23, N°24 y N°25). En el caso de la torre derecha, aunque sufrió menos daños, también se encuentra comprometida parcialmente.

 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/191



Figura N°23
(Fuente de estas 3 fotos: Neptalí Balza)



Figura N°24



Figura N°25

El muro portante de tapia del lado derecho, apoyo de los pares de madera antes indicado, tanto en la parte de la nave como la del presbiterio, presenta grietas críticas por cortante, desprendimiento de acabados y morteros, y separación entre los ángulos verticales ortogonales del muro y las paredes (ver Figuras N°26 y N°27)



Figura N°26: Muro lateral al presbiterio
(Fuente: Luis García)



Figura N°27: Muro lateral a la nave derecha
(Fuente: Luis García)

A pesar de todo lo mencionado, no se detectan daños estructurales ni desplazamientos geométricos de las columnas. Los arcos y las bóvedas se encuentran estables y sin deformaciones, aunque con pérdida del revestimiento superficial. Asimismo, los ventanales de medio punto y vitrales permanecen intactos.

Se está buscando la manera de cubrir con una lona impermeable la superficie de techo perdida, para lo cual se esta elaborando una estructura provisional para la misma. Al igual que con la Iglesia rectoral de Nuestra Señora de la Merced, se ha encomendado un levantamiento tridimensional de este templo para obtener posteriormente los dibujos CAD necesarios para diseñar el refuerzo estructural que permita que la Iglesia de San José de Ñaraulí en Cotiza, sea un espacio seguro para las personas.

Catedral de San Pedro Apóstol (Catedral de La Guaira)

La Iglesia Parroquial de San Pedro Apóstol de La Guaira fue inaugurada y bendecida el 8 de octubre de 1857, tras 10 años de construcción y casi tres décadas de ruinas del primer templo que había sido construido alrededor de 1605, pero dañado y reparado en los terremotos del 16 de enero de 1641 y del 21 de octubre de 1766 y finalmente destruido en el devastador terremoto del 26 de marzo de 1812. El 15 de abril de 1960 fue declarado Monumento Histórico Nacional según la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N.º 26.232. El 15 de abril de 1970 se crea la Diócesis de La Guaira, por lo que el templo parroquial pasó a ser la Catedral de La Guaira. Se trata de un edificio ubicado en la calle San Juan de Dios del casco histórico o zona colonial de La Guaira (ver Figura N°28), de estilo neoclásico, con planta de tres naves, la nave central más ancha y elevada que las dos naves laterales, orientadas en sentido Oeste-Este, los ejes de columnatas entre la nave central y las laterales con arquería interior de medio punto, con columnas de fuste fusiforme, columnas y muros portantes construidos con ladrillos típicos de esos años del siglo XIX, de 28 x 14 x 7 cms (medidas aproximadas) (Ver Figuras N°29 y N°30), sin tirantes ni tensores entre los muros, techos de tejas de arcilla sobre listones, pares y tirantes de madera, a dos aguas en la nave central y a una agua en las naves laterales.



Figura N° 28 (Fuente: Google Earth)



Figura N° 29 (Fuente: Antonio Montecalvo)



Figura N° 30 (Fuente: Antonio Montecalvo)

Luego del evento del 24 de junio de 2026 la edificación se muestra profundamente afectada, presenta fallas estructurales por flexión de extremo, con fractura y pérdida de material en su parte superior en una de sus columnas (ver Figuras N°31, N°32 y N°33) y agrietamientos en las partes superiores e inferiores del resto de las columnas; el muro portante Norte, que colinda con la calle, también presenta una falla por flexión de extremo, con indicios de aplastamiento en su parte inferior, por lo que muestra una inclinación basal que pone en riesgo su estabilidad.



Figura N°31 (Foto: Antonio Montecalvo)



Figura N°33 (Foto: Antonio Montecalvo)



Figura N°32 (Foto: Antonio Montecalvo)

Como parte de la FASE 1, se realizaron dos inspecciones rápidas, una el 1ro de julio y otra el 15 de julio, concluyendo que se debía realizar un apuntalamiento tridimensional para asegurar la estabilidad de la edificación, se analizó la necesidad de apuntalamiento interno para la arquería y apuntalamiento externo para el muro portante Norte, sin embargo este último se tuvo que descartar puesto que la calle colindante con este muro apenas tiene poco más de 6 metros de ancho y es la única calle que permite el acceso a ese sector de la Guaira por lo que tomar la calle para realizar el apuntalamiento tridimensional implicaba cortar el tránsito y afectar hasta a unas 4.000 personas, por lo que se decidió que todo apuntalamiento debía realizarse en el interior del templo. Para cumplir con este cometido se realizaron 2 tipos de apuntalamiento tridimensional, uno para las arquerías y el techo que se apoya en el muro Norte, que se ha realizado con andamios tipo cuplock, y otro con una estructura provisional dedicada realizada en tubos ECO-Conduven de 120 x 120 mms para soportar los capiteles de las columnas y en forma diagonal para estabilizar horizontalmente tanto la edificación como la misma estructura provisional de soporte. (Ver Figuras N°34, N°35 y N°36)


Figura N° 34 (Foto: Neptalí Balza)


Figura N° 35 (Foto: Neptalí Balza)


Figura N° 36 (Foto: Neptalí Balza)

Al mismo tiempo se está dando inicio a la FASE 2 y a la FASE 3, con el levantamiento de la información planimétrica y el diseño del reforzamiento estructural que permita seguir haciendo uso de modo seguro del templo.

Iglesia de San Sebastián en Maiquetía

El 29 de septiembre de 1670 se erige la parroquia de San Sebastián de Maiquetía y en los primeros años del siglo XVIII se concluye la primera versión del templo, una estructura modesta, de una sola nave con muros de tapia pisada, cerramientos de bahareque y techo de caña brava, esta versión del templo se desplomó totalmente en el terremoto del 26 de marzo de 1812, que tuvo su epicentro frente a las costas de La Guaira (FUNVISIS, 2022), teniendo que esperar hasta 1843 para inaugurar el nuevo templo, esta vez con tres naves y un aspecto neoclásico, sin embargo en el terremoto de San Narciso del 29 de octubre de 1900, que tuvo su epicentro también en el mar Caribe, pero al norte de las costas de lo que hoy es el Estado Miranda (FUNVISIS, 2022), también sufrió daños por lo que tuvo que ser intervenida durante el gobierno parroquial del Padre Santiago Machado. Fue declarada Monumento Histórico Nacional el 2 de agosto de 1960 (Junta Nacional Protectora y Conservadora del Patrimonio Histórico y Artístico de la Nación, 1960). Está ubicada frente a la plaza Lourdes (ver Figura N°37) orientadas en sentido Norte-Sur, con el presbiterio al Sur.



Figura N° 37 (Fuente: Google Earth)

En las inmediaciones del templo se encuentra una gruta que conserva la imagen de la virgen de Lourdes, esta imagen traída por el Padre Santiago Machado hacia 1883, consolidó una de las primeras manifestaciones de fe dedicadas a esta advocación fuera del continente europeo, siendo la gruta una réplica de la gruta ubicada en Francia. El Ministerio del Poder Popular para la cultura certificó como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Nación la Peregrinación de esta virgen en el año 2023, al cumplirse la centésima trigésima novena (139°) caminata que se realiza desde La Pastora, a través del Parque Nacional El Ávila (hoy *Guaraira Repano*), hasta Maiquetía. Afortunadamente el día 24 de junio de 2026 la imagen no se encontraba en su gruta debido a que se encontraba en restauración luego de haber sufrido un accidente, al cumplirse un mes del doblete sísmico la imagen regresó a su gruta, en procesión, conmemorando el primer mes del evento; en la Figura N°38 se encuentra la virgen, cargada en procesión, pasando por el frente del templo que ya se observa sin fachada, este fue el daño más importante que sufrió este templo, en las Figuras N°39 y N°40 observamos que la fachada en sus secciones

correspondientes a la nave izquierda y a la nave central colapsó totalmente. El segundo daño en nivel de importancia corresponde a la torre del campanario la cual sufrió evidente esfuerzos de flexión y torsión fracturándose en cuatro partes a través de las aberturas en forma de semi-oblongo, circulares y rectangulares que se encuentran en sus costados, en este momento proporcionan un precario apoyo a la cúpula, por lo que existe un altísimo riesgo de desplome por lo que la zona se encuentra acordonada mientras se encuentran los recursos para realizar un apuntalamiento tridimensional que contribuya a su estabilización temporal. Aun cuando las imágenes son impactantes, la resolución de los problemas del templo se considera de complejidad media debido a que la realidad del colapso nos permite reconstruir parcial o totalmente la fachada utilizando elementos estructurales contemporáneos embebidos en los elementos arquitectónicos permitiendo a la facha seguir siendo una pieza estructural separada, pero con mucha más seguridad debido a la oportunidad de implementar un diseño sismorresistente.



Figura N°38 (Fuente: Drana Alvarez)



Figura N°39 (Fuente: Drana Alvarez)



Figura N°40 (Fuente: Antonio Montecalvo)

Analizando las razones que contribuyeron al colapso parcial de la fachada podemos especular, a la espera de los resultados de una investigación más profunda del caso que ya se ha iniciado, que básicamente son dos, la primera es que, como podemos observar en las Figuras N°41 y N°42, aparecen distintos materiales en la fachada predominando en la parte colapsada el uso de la tapia en combinación con el ladrillo y en la parte, muy dañada pero sin colapsar, el uso casi exclusivo del ladrillo, pareciera que ambas partes de la fachada fueron construidas en momentos temporales diferentes, pero esto debe comprobarse; la segunda razón pareciera estar en el refuerzo del coro que se realizó tentativamente posterior al sismo de San Narciso de 1900, como puede observarse en la Figura N°43, el coro fue reforzado con sendas vigas de acero de un perfil que no conocemos su nombre, de 300 mms de alma y unos 200 mms de ala, sobre los que se han apoyado al menos 6 correas de un perfil, aparentemente IPN, de unos 200 mms de alto; estos elementos pudieron haber golpeado la fachada, especialmente en el segundo sismo del doblete que tuvo un componente Norte-Sur importante, haciendo que la parte más débil de la fachada colapsara.



Figura N° 41: Uso del ladrillo (Fuente: Neptalí Balza)



Figura N° 42: Uso de la tapia (Fuente: Neptalí Balza)



Figura N° 43: Refuerzo del coro con elementos de acero simplemente apoyados (Fuente: Neptalí Balza)

En la parte interna el templo sufrió pocos daños, quizás el más significativo se encuentra en la parte superior del muro portante de la nave derecha (hacia el Oeste) donde el muro elaborado en tapia, con los materiales típicos de las tapias que hemos observado a lo largo de toda la costa de La Guaira, sufrió un pequeño desmoronamiento (ver Figura N°44).



Figura N° 44 (Fuente: Antonio Montecalvo)

Las acciones a tomar en relación a la estabilización de este templo son sencillas pero costosas, en la actualidad se está tratando de conseguir el financiamiento para el apuntalamiento tridimensional de la torre, mientras un equipo recién conformado de Arquitectos e ingenieros proceden a hacer el levantamiento bidimensional de la edificación para nuestros consultores de estructura procedan a diseñar la solución a implementar, la cual debe contar con el apoyo de la Vicaria de Infraestructura del la Provincia Eclesiástica que incluye a la Diócesis de La Guaira y del Instituto de Patrimonio Cultural de la nación.

Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria de Tarmas

Este emblemático templo está ubicado frente a la plaza Bolívar de la población de Tarmas (Ver Figuras N°45 y N°46), en la parroquia civil de Carayaca del Estado La Guaira, se considera un bastión histórico y cultural porque está asociado a la fundación inicial de los pueblos doctrineros coloniales hacia 1609, encomendada a Nuestra Señora de la Candelaria, posiblemente vinculada a encomenderos e inmigrantes de origen canario. La estructura actual del templo comenzó a levantarse hacia 1770, posiblemente sobre los restos de una edificación de bahareque anterior, que se pudo ver afectada por el sismo de 1766, que tuvo su epicentro en la Península de Paria (FUNVISIS, 2022), evento que pudo afectar la edificación o que, no afectándola, de manera preventiva pudo influir en tomar la decisión de construir un templo más sólido y resistente. Existe un registro eclesiástico de 1772 donde el obispo Mariano Martí realiza una visita pastoral que documenta la existencia del templo. Se trata de un edificio sobrio de una sola nave, estilo colonial, con dos muros portantes, uno a cada lado de la nave única, otro muro portante detrás del presbiterio y un cuarto muro portante detrás de la sacristía, los dos últimos muros se encuentran por su puesto de forma perpendicular a los dos muros portantes laterales de la nave única; en la parte superior de los muros portantes laterales se observan tensores constituidos de listones de madera apoyados sobre ménsulas de lámina de acero incrustadas en los mismos muros; al lado izquierdo de la fachada principal, que como es tradición es una pieza estructural separada del resto del templo, se encuentra la torre del campanario, esta estructura es mucho más reciente, de la década de 1950, debido a que el terremoto de San Narciso del 29 de octubre de 1900 hizo que la torre, el coro y parte de los muros portantes se desplomaran (Leal Guzman, Vasquez Stanescu, Rodriguez, & Audemard, 2018), quizás en la misma adecuación estructural se añadió un contrafuerte en el muro portante derecho, es decir, al otro lado del campanario. Dentro del templo se resguardan dos tallas de alto valor artístico e iconográfico, la imagen de Nuestra Señora de la Candelaria y la del histórico Cristo de Tarmas (Ver Figura N°47); en relación a este punto se observa que a los muros portantes laterales de la nave única se le horadaron nichos para la colocación de imágenes (Ver Figura N° 48). En este lugar no solo se venera a la virgen de La Candelaria, sino que como en otros lugares del estado La Guaira se celebra la fiesta de San Juan Bautista como fiesta profundamente arraigada en la población.



Figura N°45 (Fuente: Google Earth)



Figura N°46 (Foto: Antonio Montecalvo)



Figura N°47 (Foto: Daniel Acosta)

El día del doblete sísmico, la población se encontraba en la celebración de San Juan en la plaza frente al templo, este había permanecido abierto desde las 10:30 am, hora en que se celebró la misa ese día, y hasta las 6:00 pm debido a que el párroco y los demás colaboradores debían retirarse a descansar, apenas un par de minutos después de que se logró desalojar a las personas y cerrar el templo sucedió el evento sísmico, por lo que afortunadamente no se encontraban personas dentro del templo. El impactó que recibió la edificación fue importante, observándose daños estructurales relevantes, siendo el más impactante la caída de parte del techo del templo, aproximadamente una cuarta parte del techo de la nave única, la parte más cercana a la fachada, colapsó (Ver Figura N°48), quedando sujetados algunos elementos a la parte que no colapsó, por lo que el riesgo de un desplome total existe; el único contrafuerte existente generó una grieta entre el mismo y el muro portante (Ver Figura N°49), en cuanto a la fachada esta se separó de los muros portantes de la nave (Ver también Figura N°49), y presento agrietamientos en su eje de simetría, asociados a la existencia del arco de las puertas de acceso, una ventana con forma circular y un nicho de forma de semi-oblongo, también generó una grieta que muestra que se separó de la torre del campanario y perdió parte de una cornisa del frontispicio en la base del frontón (Ver Figura N°46 nuevamente), finalmente el muro portante transversal que se encuentra detrás del presbiterio tuvo un comportamiento similar al de la fachada, separándose de los muros portantes de la nave (Ver Figura N°50), adicionalmente se puede observar cómo las mismas horadaciones a manera de nicho que le restaron un 40% de la sección del muro portante aproximadamente, generaron unas fracturas a través de esos nichos. Con respecto a este muro es de hacer notar un problema mucho anterior al evento del 24 de junio de 2026 y es que los dinteles de madera que permiten que haya un paso entre el presbiterio y la sacristía están completamente carcomidos por algún insecto xilófago, lo cual ha debilitado el muro portante en esos dos lugares



Figura N° 48 (Foto: Antonio Montecalvo)



Figura N° 49 (Foto: Antonio Montecalvo)



Figura N°50 (Foto: Antonio Montecalvo)

Este templo está en etapa de levantamiento planimétrico para diseñar tanto la solución temporal de cubierta de lona para evitar que siga entrando el agua, como la solución definitiva de refuerzo estructural que permita que el templo, como es la intención de que todas las iglesias así lo sean, sea un espacio seguro para los feligreses y asistentes en general.

Discusión

La vulnerabilidad estructural y los desafíos de conservación en el patrimonio religioso de Venezuela luego del evento sísmico del 24 de junio de 2026 ha dejado importantes lecciones.

1. Efecto de Doblete en materiales y sistemas constructivos antiguos: La ocurrencia de dos eventos sísmicos principales de gran magnitud en un intervalo de tiempo corto y con un solape entre ambos, impidió la estabilización de las estructuras patrimoniales, que evidentemente no contaban con ningún tipo de diseño sismorresistente. Tras el primer impacto sísmico, la mampostería estructural, caracterizada por una baja resistencia a la tracción, y en general a cualquier esfuerzo horizontal, sufrió un agrietamiento inicial que redujo su rigidez lateral, actuando el segundo evento sobre estructuras ya degradadas, acelerando los mecanismos de colapso local, propagando micro-fisuras en el mortero de cal y provocando el desprendimiento de revestimientos ornamentales pesados.
2. Comportamiento Dinámico de Elementos Exentos y Esbeltos: Debido a la gran altura de las torres de los campanarios, las cúpulas, los hastiales frontales y elementos similares, se produjo el fenómeno de amplificación topográfica y geométrica, donde las aceleraciones en las partes altas duplicaron o triplicaron las de la base. Esto produjo fallas en las uniones de las distintas estructuras adosadas, grietas por torsión y volcamiento potencial de cornisas, tímpanos y pináculos.
3. Ausencia de Diafragma Rígido en Techos: La mayoría de las iglesias afectadas del período colonial y del siglo XIX poseen techumbres compuestas por armaduras de madera (con pares y correas) cubiertas de tejas de arcilla y colocadas simplemente apoyadas sobre las tapias o muros de carga laterales de los templos, estas cubiertas funcionan como diafragmas flexibles, al no existir un plano rígido que distribuya las fuerzas sísmicas uniformemente hacia los muros portantes laterales, cada muro vibró de forma independiente y tendiendo a separase entre sí, ello causó severas grietas longitudinales en las claves de los arcos y un empuje hacia el exterior (out-of-plane) que amenazó con el desplome de las paredes laterales.
4. Reparaciones con elementos y rigidez dispares: Muchos de los daños de las iglesias afectadas tienen en sus sistemas constructivos diversos elementos estructurales realizados a lo largo de su historia por reformas y reparaciones, tales como los realizados después de los sismos ocurridos en 1812, 1900 y 1967, que combinan los elementos originales de construcción con elementos más recientes tales como vigas de acero y concreto armado, como es natural, la concentración de los esfuerzos originados por el doblete sísmico en estos elementos más rígidos hizo que colapsaran algunos elementos de mampostería a los cuales estaban adosados, por ejemplo la Fachada de la Iglesia San Sebastián en Maiquetía.
5. Criterios y Retos para la Restauración y Reforzamiento: Reviste particular importancia realizar levantamientos planimétricos precisos, incluyendo la revisión de planos originales, cuando estos existan, para poder realizar proyectos de refuerzos estructurales y de restauración arquitectónica mas acertados y de mayor calidad. El uso de tecnologías no invasivas de diagnóstico, como ultrasonido, cámaras tridimensionales, termógrafos, etc.

ha resultado de gran ayuda para determinar el camino a seguir luego de las evaluaciones rápidas. Técnicas contemporáneas compatibles con edificios patrimoniales de reforzamiento estructural, como inyecciones de resinas epóxicas, cal hidráulica en grietas de mampostería o el diseño de morteros de alta permeabilidad ya los estamos utilizando para las reparaciones más sencillas, y la inclusión de tensores ocultos y mallas de fibra de carbono se están considerando.

6. Limitaciones del estudio: Este estudio se ha basado en el análisis de campo de las seis edificaciones mostradas como caso de estudio y de otras treinta, para un total de 36 edificaciones que actualmente se encuentran con proyectos abiertos en la Vicaría de Infraestructura de la Provincia Eclesiástica, esto implica limitaciones evidentes:
   - Sesgo cualitativo: La evaluación de todas las edificaciones ha dependido del juicio cualitativo de un grupo pequeño de expertos.
   - Sesgo limitativo: Apenas nos encontramos en las FASE 2 y/o FASE 3 de la planificación de 5 fases, por lo que este estudio se está limitado al avance que hemos adelantado.
   - Sesgo empírico: A falta de referencias históricas confiables, en muchos casos limitados a la información encontrada en los Libros de Gobierno de las parroquias, muchas cosas se infieren de lo observado sin tener exactitud histórica de las fechas en que se hicieron algunas reconstrucciones, técnicas utilizadas o profesionales responsables.
7. Aportes y recomendaciones: A pesar de las limitaciones el estudio aporta una visión clara del problema encontrado, de las acciones que se están tomando y del camino a recorrer, sin embargo, no deja de ser necesario que:
   - Exista un plan nacional de gestión de riesgos para el patrimonio edificado.
   - Se redacten y se mantengan actualizadas normas especiales para el mantenimiento preventivo de edificaciones patrimoniales, especialmente en zonas de alta amenaza sísmica.
   - Se revise este estudio y se amplie cuando se haya avanzado en la FASE 4 de Ejecución de la Reconstrucción e Intervenciones arquitectónicas.

Conclusiones

Se realizó una descripción de los problemas encontrados en seis templos que se utilizaron como muestra, indicando acciones que ya se están tomando y el camino de las acciones futuras.

Entre los grandes hallazgos encontramos que, desconocíamos que los templos de valor patrimonial, aunque podríamos decir lo mismo de todos los templos, se encontraban sin planes de mantenimiento y con mantenimientos básicos muy dilatados y retrasados en el tiempo, lo cual exponenció los efectos y consecuencias del doblete sísmico sobre estas edificaciones.

Un segundo hallazgo desconcertante es la escasa información planimétrica precisa con que cuentan casi la totalidad de los templos, en la sede de las diócesis, esa información es muy escasa, aun cuando en el marco de estudios de postgrado de algunas universidades nacionales, muchas veces se otorga permiso a los estudiantes, para realizar levantamientos arquitectónicos, pero que lamentablemente los beneficiarios suelen no entregar esa información, por lo que desde la Vicaría de Infraestructura nos hemos visto en la necesidad de realizar levantamientos precisos de cada edificación a intervenir.

El tercer hallazgo está relacionado con sorpresa de los refuerzos estructurales, en todos los casos hemos observado que los refuerzos se limitan a las partes de la edificación dañada y no a la edificación en su totalidad, esto trajo como consecuencia que partes reforzadas dañaron partes no reforzadas luego del último evento sísmico anterior al de 2026, es decir el de 1967, esta lección debemos aprenderla comprendiendo estas edificaciones como una unidad a reforzar, pareciera ser este el único camino para que los templos, las iglesias, se conviertan en edificaciones seguras para las personas.

Un último hallazgo es la escasez de estudios y publicaciones sobre el comportamiento sísmico de estructuras de mampostería antigua y patrimoniales en Venezuela, lo cual abre un gran campo para la investigación en esta área.

Referencias

Dávila, M. (2011). Estudio para la valoración y recuperación del patrimonio arquitectónico religioso venezolano, a través de técnicas digitales. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

FUNVISIS. (2022). *Atlas sismológico de Venezuela, parte 1, Sismología*. Recuperado el 4 de julio de 2026, de http://www.funvisis.gob.ve/atlas.php

Gasparini, G., & Duarte, C. (1989). *Historia de la CAtedral de Caracas*. Caracas: Armitano.

Junta Nacional Protectora y Conservadora del Patrimonio Histórico y Artístico de la Nación. (2 de agosto de 1960). GACETA OFICIAL N° 26.320. Venezuela.

Leal Guzman, A., Vasquez Stanescu, R., Rodriguez, J., & Audemard, F. (2018). Reevaluación del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. Primera. *Geominas, 46*(77).

Tariffi, T., & Rosi de Tariffi, N. (1950). *Caracas guia historico-artística e indicador general.* Caracas: Nueva Venezuela.

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781 https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/192
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 485 – 495

APROXIMACIÓN A LA HAGIOGRAFÍA SÍSMICA DE VENEZUELA

José Antonio RODRÍGUEZ ARTEAGA[1], Alejandra LEAL GUZMÁN[2], André SINGER MICHELLE[3]

…no permitas que muramos
De sustos y de temblores[4]

RESUMEN

Los terremotos, sucesos de orden natural y catastrófico, han alterado la cotidianidad de pueblos enteros con extraordinaria frecuencia. Desde una perspectiva mágico-religiosa, las gentes al no obtener respuestas a sus interrogantes sobre ellos y careciendo de elementos a los cuales acudir que puedan explicarlo, se han procurado consuelo y respuestas ante sus devastadores efectos. Algunos de ellos provienen directamente de la práctica religiosa, otras, satanizan el fenómeno adverso siempre amenazante, eliminando el factor telúrico y buscando amparo y resignación por su ocurrencia. Esas tan anheladas respuestas que la ciencia «no otorga» o que la población asume no lo hace, han sido transformadas, atribuyendo el portento salvador y cediéndole las responsabilidades de su amparo a santos y devociones marianas de las que Venezuela no escapa y que en este estudio se mencionan algunos ejemplos.

ABSTRACT

Approach to the seismic hagiography of Venezuela

The earthquakes are natural and catastrophic events that with an extraordinary frequency have altered the daily life of entire populations. From a magic-religious view, when people do not find answers to the questions about them, and lacking elements which can explain them, they seek elsewhere for solace and answers to the devastating effects of the earthquakes. Some of them come directly from religious practice, others demonize the ever-threatening adverse event, removing the telluric factor and looking for shelter and resignation for its occurrence. These longawaited answers that science "does not grant" or that people assume it does not, have been transformed, giving the wonder savior and ceding their responsibilities under Saints and Marian devotion that Venezuela is no exception and in this study we mention some examples.

Palabras clave: Temblores, sismicidad histórica de Venezuela, sismo, fenómeno natural extremo, satanización del fenómeno, respuestas sociales y religiosas, perspectiva mágico-religiosa, advocaciones marianas, santos, imaginario social.

Keywords: Tremors, Venezuelan historic seismicity, earthquake, natural phenomenom, demonization of the phenomenom, social and religious answers, magic-religious perspective, Marian invocations, saints, social imaginary.

INTRODUCCIÓN

Inesperados e incontrolables, los sismos sentidos y/o destructores, se cuentan entre los eventos naturales que más rápidamente desorganizan la vida de una comunidad. No es de extrañar entonces que casi todas las sociedades establecidas en zonas sísmicas, se hayan dado a la tarea de buscar, bien sea explicaciones para el fenómeno, consuelo ante sus consecuencias, protección contra futuros temblores y terremotos. Los múltiples resultados de dichas búsquedas constituyen un amplísimo repertorio de respuestas las cuales se encuentran definidas según los elementos económicos, políticos, socioculturales, científicos y religiosos, que caracterizan el contexto en el cual irrumpe un determinado evento telúrico.

Considerando que, en Latinoamérica, la relación sociedad-naturaleza estuvo, durante los tres siglos de la Colonia, mediada y definida por la Iglesia, y que esa visión del orden universal como producto de la voluntad de Dios -visión que incluye la interpretación de los fenómenos naturales y de los desastres-, aún hoy no ha sido desarraigada de las mentalidades y de las culturas (Altez, 2006), se comprende que las respuestas religiosas asociadas a los terremotos y temblores constituyan

[1] Asesor emérito del Departamento de Geología de Terremotos. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. Correo-e.: rodriguez.arteaga@gmail.com
[2] Investigadora en sismología histórica y riesgo sísmico, Dra. en Urbanismo, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Departamento de Sismología. Correo-e: alfaleguz@gmail.com
[3] Asesor emérito del Departamento de Geología de Terremotos. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, correo-e: singer.andre1@gmail.com
[4] Fragmento de una oración popular dedicada al Obispo San Emigdio de Ascoli, venerado protector contra los sismos y terremotos, martirizado en el siglo año III d.C.

manifestaciones de gran importancia que han sido documentadas, reseñadas y analizadas para una buena cantidad de casos (García Acosta, 2001). No obstante, en Venezuela, ese interesantísimo filón de orden histórico-sísmico permanece, cuanto menos, inexplorado, aunque se dan pasos para obtener un amplio panorama de ello.

Respecto a las respuestas religiosas se pueden distinguir una amplia variedad de opciones que proveen simultáneamente explicaciones, consuelo y protección, cabe decir: procesiones, misas, rogativas, oraciones, exvotos, bautizo de los sismos con el nombre del santo en cuyo día ocurre el evento y la elección de patronos antisísmicos o sismorresistentes.

Si bien este último término ha de considerarse actual y cónsono con las realidades de las modernas normativas vigentes como las últimas que han sido citadas, en nuestros tiempos la denominada 1756-1-2001, estándar técnico nacional que establece los requisitos y criterios para el diseño sismorresistente procura seguras construcciones formales ante el fenómeno sísmico cuyo fin último es evitar el colapso de estructuras y la pérdida de vidas, humanas, contrastada con aspectos religiosos a cuyas manos se confiaban las responsabilidades de la intermediación entre los fieles y Dios que sí controlaban -y controlan- esas terribles fuerzas de la naturaleza.

Indudablemente, se trata de una temática que difícilmente se puede abarcar en un solo estudio, pues además de la documentación y descripción de las respuestas religiosas que se han presentado a lo largo de la historia de los desastres sísmicos nacionales, sería imprescindible analizar el contexto en el que se presentan e intentan proponer una interpretación de los mismos.

Es este el paso en que se ha iniciado, la elaboración de una *hagiografía sísmica nacional*, en donde se pretende dar cuenta de las siguientes interrogantes: (**1**) ¿Cuáles han sido los santos designados como patronos antisísmicos?; (**2**) ¿A qué evento se les asocia y cómo lograron ese escaño protector de celestiales manos?; (**3**) ¿Una mera casualidad?; (**4**) ¿A qué otras manifestaciones han dado lugar la designación de dichos patrones?; (**5**) ¿ En el ámbito hispanoamericano, los terremotos destructivos han dejado una profunda huella en la religiosidad popular y la liturgia oficial, consolidando devociones, oraciones específicas, rogativas, procesiones de desagravio y exvotos., etc.?; (**5**) ¿A la hora de un terremoto ¿a quién encomendarse?

¿LOS SISMOS, IRA DE DIOS, ¿CASTIGO DIVINO?

Resulta interesante vincular un fenómeno natural como son los sismos a la ira de Dios o a la noción de castigo divino y el contexto que ello maneja, sumado a otros factores. En el decurso histórico de las poblaciones hispanoamericanas la cotidianidad de la población se ha visto perturbada frecuentemente por las fuerzas de la naturaleza, cuya actuación se ha escapado a todo control, independiente del evento; ayer un sismo, hoy un alud torrencial, mañana … ¿Quién sabe? ... Y en cada una de esas ocasiones, en medio del pánico, siempre se han levantado voces pregonando las justas consecuencias de incurrir en la cólera divina, y exhortando al arrepentimiento y la expiación.

Es así que la Biblia, conjunto de libros canónicos del judaísmo y el cristianismo y en particular en el Antiguo Testamento, se han considerado a los terremotos como signos de cólera divina entre otros aspectos, por haber abandonado el hombre la obediencia al Señor. A esto es necesario agregar la percepción de los actores sociales ante el fenómeno e incluso las reacciones generadas según la influencia social, política o religiosa que ello incitase. De estas se pudiesen agregar muchos casos como el acontecimiento natural extremo, llevado por factores políticos imperantes y forzando a estos por encima de la religión.

Es necesario señalar que los eventos naturales en general no siempre fueron vistos como producto de la ira de Dios (Jurado, 2004), para algunos casos, el colectivo atribuía al fenómeno cualidades en extremo perversas, de tal forma que Satanás y sus huestes tenían su parte o toda la responsabilidad como autores del calamitoso evento. Es así que bien se puede presentar a conveniencia, una tríada Dios-Satanás-intereses políticos, convertidos en una suerte de artimaña en procura de prosélitos de una causa.

En efecto, seguidores del virtuoso soberano Fernando VII (1784 -1833), adeptos a la monarquía española proclamarán castigo del cielo y un Bolívar erguido como líder sobre las ruinas de Caracas expresará, en una equívoca escena, las ya conocidas y temerarias palabras: "*si se opone la naturaleza a nuestros designios, lucharemos contra ella, y haremos que nos obedezca*" (**Figura 1**).

Probablemente han sido muchas las interpretaciones que la famosa expresión ha tenido, mas se considera atinado en base a un artículo aparecido en el diario *El Nacional* del 29 de octubre de 2000 denominado por Néstor Peralta Rojas, su autor, "*Frase tergiversada*": Sería justicia para el padre Libertador, corregir la frase atribuida por el médico españolista [**se refiere a José Domingo Díaz**], furibundo partidario del Rey, a quien se le atribuyen las presuntas palabras en un libro de su autoría: [**Recuerdos sobre la rebelión de Caracas**] y las vehementes palabras de los frailes predicadores ajenas a las ideas religiosas, a las ideas políticas de entonces y a la acción del terremoto (al respecto. *véase* Altez 2006).

En el sismo de 1812 se conjugan dos posiciones (Lecuna, 1812): una, la expresada por el arzobispo caraqueño Narciso Coll y Pratt de tendencia realista: "*espantoso, pero bien merecido terremoto*" son sus palabras y la segunda correspondiente al patriota independentista, Rafael León quien señala: "*Dios manifestó patentemente su voluntad destruyendo hasta las casas*" (Lecuna, 1812).



Figura 1*. Terremoto del de 1812, óleo de Tito Salas (Fuente:https://Wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Venezuela_de_1812)*

Un paseo por el santoral antisísmico nacional

Muchas devociones a decir de Jurado (2004) provenientes de Europa reconocieron en distintos santos, atributos especiales para restablecer la naturaleza o escapar a sus inclemencias y a la enfermedad. La pregunta es válida, ¿cómo enfrentaban en siglos pasados los desastres, ante la carencia de auxilios expeditos? y particularmente, ¿cómo manejaban las comunidades afectadas el impacto psicológico del desastre?

Al que sucediesen eventos de orden natural que vulnerasen una comunidad, contribuían las acciones humanas de intervención del paisaje. Es completamente natural que eventos de esta magnitud desencadenen un estado de alerta emocional profunda. La incertidumbre sísmica impacta tanto en la estructura física como en el bienestar psicológico, transformando la preocupación en una oportunidad crítica para fortalecer la resiliencia familiar.

Así se ha podido ver la importancia de santos protectores o abogados contra los sismos no sólo para marcar la importancia de la iconografía pictórica [e incluso realizada en retablos, en escayola, en madera o mezcla de elementos, valga decir, una imagen rediviva de carne y hueso] como marcador de actividad sísmica (Oropeza y Zambrano, 2007), sino a la par, indagar sobre las diversas circunstancias que determinados terremotos han motivado su "devoción en Venezuela" e incluso fuera de ella, reconstituyendo corrientes de difusión de su culto. acordes con el contenido de los catálogos y la geografía sísmica del planeta.

¿Afición al culto o conmemoración de la fe?

En un librillo publicado para 1861, *Uti emlékezek Amerikából Perst - Memorias de un viaje por América-* el viajero húngaro *Pal Rosti* (1830-1874) (**Figura 2**) quien visitó el país transcurridos casi 50 años desde el sismo de 1812, retrató el semblante ruinoso y el ambiente melancólico y lánguido de una Caracas que aún no se recuperaba de aquel de embate. A la vez, el viajero comentaba lapidariamente la asiduidad religiosa de los caraqueños:



Figura 2*. Pal Rosti, científico y fotógrafo. Autor del libro Uti emlékezek Amerikából Perst*
Fuente; El miope de los relojes, https://prodavuinci.com

El almanaque católico español abunda en fiestas, pero a estas se añaden en Caracas fiestas locales, procesiones, ciertas fiestas de algunos santos particularmente venerados y las conmemoraciones de terremotos y otros desastres, así como de grandes acontecimientos políticos.

¿A qué santo me encomiendo? Antecedentes

En referencia al santoral antisísmico en Venezuela, una multiplicidad de patronos y devociones marianas han sido acogidos como abogados contra los terremotos, de hecho, algunos ejemplos son citados en Oropeza y Zambrano (2007). Estos autores mencionan a: San Bernabé probablemente por la inveterada costumbre de bautizar a los sismos con el nombre del santo del día siguiendo preceptos ordinarios del calendario católico.

La Virgen de las Mercedes, La Virgen del Rosario de San Jacinto, más conocida por Nuestra Señora de los Terremotos, cuya imagen se encuentra en la Iglesia de Altagracia han sido objeto de culto caraqueño incluyéndose a San Emigdio, San Bartolomé y Santa Eduvigis, a la vez que más recientemente se ha conocido de San Roque (André Singer, *com. esp.*, 2009), aunque en Venezuela, se le ha invocado tradicionalmente para la protección de la salud y las mascotas, con festividades destacadas como las de la parroquia San Roque en Falcón o en el estado Zulia.

Le siguen El Señor de los Milagros, santo venerado en el Perú, pero introducido a Venezuela como el *Cristo de Pachacamilla* o Cristo Moreno, venerado por la comunidad peruana radicada en Venezuela y homenajeada por la Asociación peruano-venezolana en Guayana (Velásquez, 2008), el Santo Cristo de La Grita, a cuya devoción se

construyó la basílica por causas del terremoto de 1610 y de manos de Fray Francisco, miembro de la congregación franciscana. Su escultura pese a las escasas habilidades de cura imaginero, competían con su piedad; Nuestra Señora de Regla (Botarro, 1998), y San Cristóbal (André Singer, *com. esp.*, 2009) quien refiere la tradición española de colocar una pintura del santo al pie de una loma, para protegerse contra terremotos y rayos.

Particular caso este, pues según el mismo referencista en época colonial y la Catedral de Caracas una pintura de San Cristóbal de Juan Pedro López era colocada al pie de la torre, para resguardo sísmico de la misma, aunque en el texto originalmente consultado no hay referencia a tamaño portento (Alfonso Yaz y Loureiro, s/f).

Destaca en la población andina de Tovar, la mencionada santa pues Mario Rosales, cronista de la población en su libro "*Perfiles Tovareños*" señala que el origen del nombre de "*Regla*" proviene de la revelación de un sueño de Santa Mónica que afirma que la virgen se le apareció con un instrumento así en la mano. Su influencia positiva se asocia al terremoto de Tovar del 28 de abril de 1894 (Botarro, 1998: 7), conocido en la literatura sismológica como el Gran Terremoto de los Andes, uno de los más grandes eventos sísmicos ocurridos en Venezuela, cuya área de daños bien localizada, se encontraba relativamente poblada para la época, razón de la existencia de muchos testimonios escritos sobre los efectos del terremoto (Rengifo y Lafaille, 2000) y a otras cuantas calamidades más: la langosta en 1908; la epidemia de tifus y viruela en 1909; la famosa gripe española en 1918-1919 y los sucesos de 1950 y 1956 con las inundaciones.

"En todas estas ocasiones la mano protectora de la Virgen de Regla, salvó a Tovar de los cataclismos que la amenazaban". Luego vuelve a aparecer en el imaginario venezolano, la santa y protectora mano de otras advocaciones marianas como salvadoras de otras calamidades, aspecto que será tratado en la ocasión que sea necesaria.

Destacan en todos, sus virtudes como una aproximación básica a la "*vida sísmica de los santos criollos*", aunque se desconoce, si todos o alguno de ellos haya sido objeto de culto y oración y si entre los mismos, a excepción de San Emigdio existe alguno del que se disponen nutridas referencias, no objeto de este trabajo de investigación, sus respectivas oraciones de por medio incluyéndose una novena, además de la consabida "e*stampita*" (**Figura 3**) en diversas versiones.

San Emigdio, apóstol y mártir germano de origen y nativo de Treveris fue convertido al catolicismo y ordenado por el Papa Marcelo I, y siendo obispo muere en el martirio. Este santo, cuya devoción está repartida en diferentes ámbitos geográficos latinoamericanos y de otras latitudes, aún es difícil precisar su devoción en Venezuela, dedicándosele una iglesia, la correspondiente a San Pedro de Capacho o Capacho Viejo como también se le conoce, ubicada en el municipio Independencia del estado Táchira, en los Andes de Venezuela. Su devoción, fue evidentemente traída, mas ¿por qué vía llegó al país?

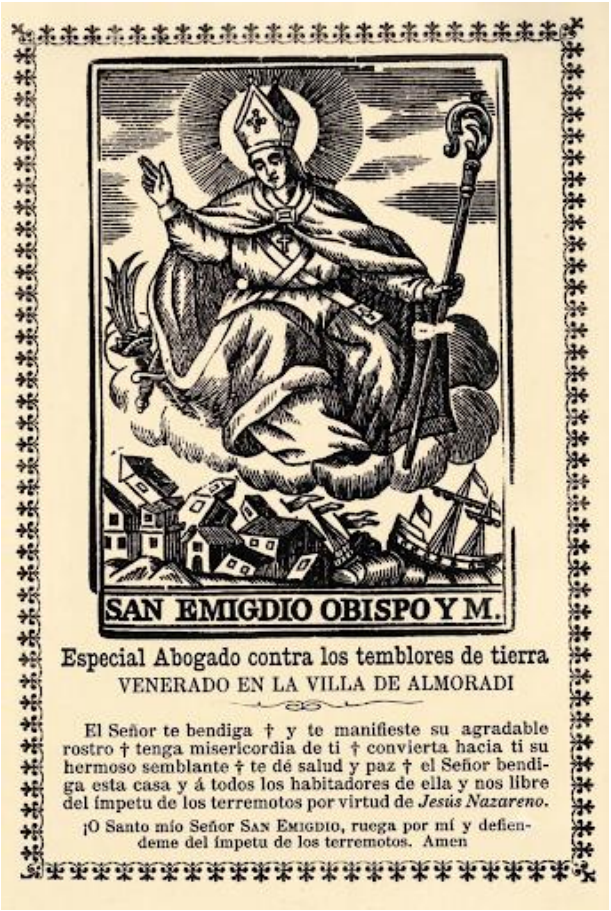


Figura 3 *Estampa devocional dedicada a San Emigdio. Grabado de comarca de la Vega Baja del Segura -España Fuente: https://almoradicinecta.com/espectáculo/27/museo-del-terremoto.html*

¿Imaginería variada, política, santo antisísmico o el primero que se me aparezca?

No deja escapar a la realidad que ciertamente, el culto y la oración son básicos, por cuanto aparentemente se recurría a imágenes presentes o rescatadas de las iglesias tras un evento sísmico, en algunos casos con una clara connotación de orden político, como en 1812 en que era evidente la separación entre monárquicos e independentistas. Así, por ejemplo, relata Rivero (1980), "...es San Francisco el templo escogido para celebrar el Tedeum en acción de gracias, unos ofrendados por españoles en nombre del Rey, otros por los criollos en nombre de la República y de Bolívar…", o el caso del Obispo Fray Mauro (Rivero, 1980) que tras los severos daños sufridos por la Catedral de Caracas durante el terremoto de San Bernabé.

[*de*] ... *en medio de las ruinas quedó intocado el Santísimo Sacramento y hasta allí llegó el fraile en su busca para presentarlo a la adoración de los atribulados caraqueños, apretujados en el altozano y la plaza.*

En casos más recientes como el terremoto de Cumaná de 1929, la particular disposición de cuanta imagen se dispusiese, era la característica.

... Las imágenes de Santa Inés, de Santa Teresita, de la Virgen del Valle recorrían las calles e inclusive la mortificación de la carne según las disposiciones de la iglesia católica... (Pibernat 1948).

(...) *El Obispo Sosa* [*se* trata de Sixto Sosa] *refiere, llevaba en los hombros una cruz de penitencia... sin otra música que el murmullo de rezos y plegarias. A continuación, escuchábase la palabra severa de algún misionero, que exhortaba a las muchedumbres, con abrasados acentos, a renovarse en la fe y en las virtudes cristianas.*

Independientemente del hecho, queda claro el sesgo moral que se atribuía y toda la parafernalia de rogativas y procesiones para tratar de aplacar los ánimos del Altísimo, dada la creencia que las calamidades existentes tenían relación con una presunta reacción divina ante determinados acontecimientos no muy claros en que lapso de tiempo venido o por venir.

Cercano al sismo de 1929 en Cumaná, llegaría en vano intento con la invasión del *Falke*, (barco de vapor alemán de origen inglés, del cual el general Román Delgado Chalbaud se sirvió como buque de guerra para llevar a cabo en agosto de 1929 la expedición más importante contra el régimen establecido en Venezuela por el general Juan Vicente Gómez), vale decir dos serios "acontecimientos", uno natural y el otro político con intervalo cercano a los 8 meses, hecho constatable por muchos historiadores.

Fe como recurso o fe a la fuerza

En Guillermo José Schael (1972), se ha conseguido interesante correspondencia para conocer los destrozos provocados por el Terremoto de San Bernabé, el cual se incluye como una contribución al estudio del primer terremoto documentado en la historia de Caracas.

Ruy Fernández Fuenmayor, mi Gobernador y Capitán General de la Provincia de Venezuela en mi Consejo Real de las Indias se han recibido y visto vuestras cartas de 13 de junio del año pasado, juntamente con otras que esa ciudad y oficiales de mi Real Hacienda me escribieron dándome cuenta del trabajoso estado en que se hallaban con el accidente del terremoto y temblor que hubo el día de San Bernabé, y que en menos de 1/4 de hora se azoló la dicha ciudad sin que quedase en pie casa ni Iglesia alguna, y que lo mismo sucedió en el Puerto de La Guaira y me ha parecido significaros el sentimiento grande con que quedo de este caso tan lastimoso y supuesto que de ninguna manera podéis ignorar los aprietos que de presente me hallo en estos mis reinos con tantos ejércitos y que esto me imposibilita por ahora la justa asistencia que debo tener a los vasallos que con tanta fidelidad, amor y celo me sirven en esa Provincia os encargo y mando que por los medios que hallaredes más eficaces y convenientes los déis a entender esto, y el cuidado con que quedo de su amparo, consolándolos y alentándolos con vivesa y refiriéndoles la estimación que hago de todos ellos y que por las necesidades y aprietos grandes con que ahora se halla mi monarquía no es posible socorrerlos de mis cajas y vos y ellos veréis que medios se podrán aplicar allá en otras cosas de manera que les sirva de alguna ayuda y me avisaréis de los que fueren para que se resuelva lo que convenga teniendo entendido que se les procurará asistir en todo lo que fuere posible de [ilegible] a tres de mayo de 1642 años. Yo el Rey. por mandado del Rey nuestro señor, Juan Bautista San Navarrete y señalada de los del Consejo. [se ha conservado la grafía original].

Caracas
A su Majestad.
El Gobernador.
En el Cabildo a 15 de marzo de 1646 júntese con la carta el memorial de la ciudad Venezuela y todo se lleve al Señor Fiscal. Con ocasión de habérsele mandado informar de lo que podría hacer con la ciudad de Santiago respecto de los terremotos y Necesidades que había tenido dije cuan maltratada quedo con los terremotos, la ruina de sus edificios y la continuidad de los malos años que se han seguido a él y esta ruindad de frutos, que la ciudad pretende se le prorrogue el encabezamiento de estas alcabalas y de las mercedes que goza suspendiendo el repartimiento y cobranza de los efectos que se consigan a la Armada de Barlovento, y que se le podría hacer la merced que su persona de tan justas causas. [se ha conservado la grafía original].

Entre otros aspectos, el 14 de agosto de 1641 Fray Mauro de Tovar, hombre agresivo y obispo de Venezuela, da al rey la relación detallada de los desastres ocasionados por el terremoto del 11 de junio, entre las ocho y las ocho y media de la mañana, sin que en la ciudad se resintieran las casas en su fábrica o viniesen totalmente al suelo.

La iglesia de los dominicos no cayó, pues los arcos la aguantaron, pero quedó rendida y se vendrá al suelo, como también se derrumbó la mayor parte de un quarto [sic] *que tenían nuevo.*

Las resonancias del desastre ocurridos ese día todavía aparecerán en una carta que los dominicos caraqueños enviarán al rey el 24 de marzo de 1669, tras 29 años del suceso.

... arruinó totalmente el convento, se ha reedificado el cuerpo de la iglesia, capilla mayor y de Nuestra señora del Rosario, sin ser posible adelantarse más, estando como están todas las demás capillas., que son siete, sacristía, celdas, noviciado y demás oficinas necesarias sin empesar [sic], viviendo los religiosos con mucha incomodidad en las que de palos, paja y tierra fabricaron luego que pasó el terremoto. Piden limosna.

Dos órdenes hicieron vida en Caracas antes de la llegada de los Mercedarios, la Orden de Predicadores del Convento de San Francisco remontado en la historia a 1577 con la llegada de los frailes franciscanos quienes acompañaron al Gobernador Don Juan de Pimentel, y quien señaló a Fray Alonso Vidal para el inicio de las construcciones de un convento (Briceño, 2001). En segunda instancia la Orden Dominica que de acuerdo a (Bueno, 2002) llegan en 1597.

Es así que Ruy Fernández de Fuenmayor hombre de inquietudes y fe a toda prueba, se entera de la ausencia de la Orden Mercedaria en Caracas y por ello en su venida trajo consigo provenientes de Santo Domingo, a varios miembros de la misma congregación con el firme propósito de promover la fundación del respectivo convento en la ciudad.

Este aspecto no deja de ser interesante, por cuanto independientemente de su fe sin enmiendas existe -en apariencia-, un fervoroso deseo de la presencia en la ciudad de Caracas de una Orden de la Merced, ¿eclesiales celos por la ausencia de otra compañía sacerdotal en Caracas o realmente una necesidad? Pareciese en principio una disposición a la fuerza.

***Ora pro nobis peccatoribus*: rogativas por los terremotos**

Un complejo ceremonial para las invocaciones se ha desarrollado en Venezuela, combinando el sentimiento religioso y las manifestaciones públicas de penitencia.

Es así como en 1813, a iniciativa del Muy Ilustre Ayuntamiento de Caracas (Navarro, 1967) se decidió la conmemoración anual perpetua del terremoto del 26 de marzo de 1812, con la ejecución de una procesión de penitencia pública en la que se solicitase la misericordia divina preservando a la ciudad del calamitoso sismo.

Ediles y capitulares de mutuo acuerdo transmitieron de manos de Don Narciso Coll y Pratt el acta levantada en consecuencia, acordándose en forma unánime (Navarro, 1967).

... que cada año se hiciese la dicha procesión el mismo día 26 de marzo, iniciándose a las 4 y media de la tarde y que en los años que cayere este día en la Semana Santa se trasladase al primer día festivo después de la octava de Pascua. En ella se llevarían las imágenes de Nuestro Señor Jesucristo crucificado y la de Nuestra Señora del Rosario de San Jacinto… implorada Patrona de terremotos de esta ciudad...

A raíz del terremoto que sacudió el área metropolitana de Caracas el 29 de octubre de 1900, la devoción de los caraqueños despierta súbitamente: misas, rogativas y procesiones se suceden en la atemorizada ciudad y sus alrededores. Una breve nota en el diario *La Linterna Mágica* recuerda a las gentes que para estas ocasiones San Emigdio "…*es el abogado de los temblores*. Dirigirle, pues, las rogativas y oraciones correspondientes" (*La Linterna Mágica*, 31 de octubre de 1900). El patronazgo antisísmico de Nuestra Señora de Las Mercedes es retomado por los fieles y, en la entrada del templo de Altagracia, se erige una imagen de la Abogada contra Terremotos, colocada de espaldas al Ávila (actual Waraira Repano).

En las cuatro caras de su pedestal, son puestas cuatro placas de mármol con las siguientes inscripciones en latín:

- Cara norte: *Laus et honor tibi sit / Rex Christe Redemptor / Die 1 Januarii 1901.* - Cara sur: *Los católicos de Caracas agradecidos a la Santísima Virgen de Las Mercedes.*
- Cara este: *Tu gloria Jerusalén / Tu letitia Israel / Tu honorifificentia / populi nostri.*
- Cara oeste: *Salus nostra in manu tua est / Terremoto del 29 de octubre de 1900.*

Hagiografía sísmica mínima

Si bien las interpretaciones y estudios provenientes de diferentes autores parecen insinuar un particular santo o devoción en un evento sísmico dado, todo indica una disposición específica en los aspectos de la vida de los santos antisísmicos e incluso en las advocaciones a la Virgen María, partiendo de una base común: la presencia española en América, así como la especial fe de las órdenes sacerdotales imperantes y su influencia en la población.

Tal es el caso de Nuestra Señora de Las Mercedes (**Figura 4**), más comúnmente citada como la Redentora de los Cautivos (De Carrocera, 1926) cuya data se remonta desde 1766, se prolonga hasta 1812 e incluso es invocada en1900 en la población de Río Chico, abatida por el sismo y cuya santa patrona será la misma.



Figura 4*. Nuestra Señora de la Merced o La Virgen es misericordiosa. Patrona de la región de Barlovento, estado de Miranda*
Grabado siglo XVIII Rocafort y López, Tomás (fl. 1798-1827). Colección Torres Jiménez.
Fuente: https://lalagunaahora.com/hoy-celebramos-nuestra-senora-de-las-mercedes/

Esta imagen actualmente es venerada en el santuario de los Hermanos Menores Capuchinos. En todo caso se da una transmutación del cacao a los sismos y así la Virgen de la Merced pasa de ser Patrona de los Cultivadores de Cacao a Abogada de los Terremotos debido al sismo ocurrido el día 21 de octubre de 1766, evento que se abatió sobre la capital, pero

sin causar víctimas fatales (Duarte, 1974) y que en la historia sísmica nacional se conoce como el terremoto de Santa Úrsula.

Tras escondidos, obsoletos y poco consultados textos, la oscura explicación yace más en el ámbito terrenal que en lo divino.

La obligación del Cabildo con la Iglesia, luego del sismo de 1812 en Caracas, cumplió a cabalidad su obligación de celebrar el día de Nuestra Señora [de Las Mercedes] con Misa Solemne y Procesión en honor del Patronato [se refiere al Patronato de los Padres Mercedarios] que en ella reconocía sobre las plantaciones de cacao (de Utrera, 1938).

Es más que elocuente la solemnidad con la que el acto se dispuso. No obstante, con el tiempo y las transformaciones de la ciudad, el Ayuntamiento de Caracas se desligó del compromiso so pretexto de falta de fondos y en apariencia en 1822, tras 10 años de cumplimiento dejó de practicarlo con las rogativas *pro tempore terraemotus* como se había hecho tiempo atrás (Navarro, 1967).

En un acuerdo entre los cabildantes, representantes de la Corona Española y los sacerdotes mercedarios, quienes entregaban en especie o en dineros una cuota impositiva a Cabildo, ergo al Rey, "permitía" contar con una Patrona de los Cultivadores de Cacao. La tozudez de un fraile al negarse a recoger cacao para Su Majestad, derivó en un disgusto religioso-impositivo dirimiéndose la querella en Cabildo un 20 de febrero de 1817, cuando pudo más la justicia ordinaria que la eclesiástica y en consecuencia la Virgen de la Mercedes "abandona" su patronazgo obre las plantaciones de cacao. No hay duda que lo real, dominó sobre

Fe como recurso o fe a la fuerza

Aparte de Guillermo José Schael (1972), se ha conseguido interesante correspondencia para conocer los destrozos provocados por el Terremoto de San Bernabé, el cual se incluye como una contribución al estudio del primer terremoto documentado en la historia de Caracas.

Ruy Fernández Fuenmayor, mi Gobernador y Capitán General de la Provincia de Venezuela en mi Consejo Real de las Indias se han recibido y visto vuestras cartas de trece de junio del año pasado, juntamente con otras que esa ciudad y oficiales de mi Real Hacienda me escribieron dándome cuenta del trabajoso estado en que se hallaban con el accidente del terremoto y temblor que hubo el día de San Bernabé, y que en menos de un cuarto de hora se azoló la dicha ciudad sin que quedase en pie casa ni Iglesia alguna, y que lo mismo sucedió en el Puerto de La Guaira y me ha parecido significaros el sentimiento grande con que quedo de este caso tan lastimoso y supuesto que de ninguna manera podéis ignorar los aprietos que de presente me hallo en estos mis reinos con tantos ejércitos y que esto me imposibilita por ahora la justa asistencia que debo tener a los vasallos que con tanta fidelidad, amor y celo me sirven en esa provincia hallaredes más eficaces y convenientes los déis a entender esto, y el cuidado con que quedo de su amparo, consolándolos y alentándolos con vivesa y refiriéndoles la estimación que hago de todos ellos y que por *las necesidades y aprietos grandes con que ahora se halla mi monarquía no es posible socorrerlos de mis cajas y vos y ellos veréis que medios se podrán aplicar allá en otras cosas de manera que les sirva de alguna* ayuda y me avisaréis de los que fueren para que se resuelva lo que convenga teniendo entendido que se les procurará asistir en todo lo que fuere posible de [ilegible] *a tres de mayo de mil y seiscientos y cuarenta y dos años.* Yo el Rey. por mandado del Rey nuestro señor, *Juan Bautista San Navarrete y señalada de los del Consejo.* [se ha conservado la grafía original].

Caracas
A su Majestad.
El Gobernador.
En el Cabildo a 15 de marzo de 1646 júntese con la carta el memorial de la ciudad Venezuela y todo se lleve al Señor Fiscal. Con ocasión de habérsele mandado informar de lo que podría hacer con la ciudad de Santiago respecto de los terremotos y Necesidades que había tenido dije cuan maltratada quedo con los terremotos, la ruina de sus edificios y la continuidad de los malos años que se han seguido a él y esta ruindad de frutos, que la ciudad pretende se le prorrogue el encabezamiento de estas alcabalas y de las merced que goza suspendiendo el repartimiento y cobranza de los efectos que se consigan a la Armada de Barlovento, y que se le podría hacer la merced que su persona de tan justas causas. [**se ha conservado la grafía original**].

Entre otros aspectos, el 14 de agosto de 1641 Fray Mauro de Tovar, hombre agresivo y obispo de Venezuela, da al rey la relación detallada de los desastres ocasionados por el terremoto del 11 de junio, entre las ocho y las ocho y media de la mañana, sin que en la ciudad se resintieran las casas en su fábrica o viniesen totalmente al suelo.

La iglesia de los dominicos no cayó, pues los arcos la aguantaron, pero quedó rendida y se vendrá al suelo, como también se derrumbó la mayor parte de un quarto [sic] *que tenían nuevo.*

Las resonancias del desastre ocurridos ese día todavía aparecerán en una carta que los dominicos caraqueños enviarán al rey el 24 de marzo de 1669, tras 29 años del suceso.

... arruinó totalmente el convento, se ha reedificado el cuerpo de la iglesia, capilla mayor y de Nuestra señora del Rosario, sin ser posible adelantarse más, estando como están todas las demás capillas., que son siete, sacristía, celdas, noviciado y demás oficinas necesarias sin empesar [sic*], viviendo los religiosos con mucha incomodidad en las que de palos, paja y tierra fabricaron luego que pasó el terremoto. Piden limosna.*

Dos órdenes eclesiales hicieron vida en Caracas antes de la llegada de los Mercedarios, la *Orden de Predicadores del Convento de San Francisco* remontado en la historia a 1577 con la llegada de los frailes franciscanos quienes acompañaron al Gobernador Don Juan de Pimentel, y quien señaló a Fray Alonso Vidal para el inicio de las construcciones de un convento (Briceño, 2001). En segunda instancia la Orden Dominica que de acuerdo a (Bueno, 2002) llegan en 1597.

Es así que Ruy Fernández de Fuenmayor hombre de inquietudes y fe a toda prueba, se entera de la ausencia de la Orden Mercedaria en Caracas y por ello en su venida trajo consigo provenientes de Santo Domingo, a varios miembros

de la misma congregación con el firme propósito de promover la fundación del respectivo convento en la ciudad. Este aspecto no deja de ser interesante, por cuanto independientemente de su fe sin enmiendas existe -en apariencia-, un fervoroso deseo de la presencia en la ciudad de Caracas de una Orden de la Merced, ¿Eclesiales celos por la ausencia de otra compañía sacerdotal en Caracas o realmente una necesidad? Pareciese en principio una disposición a la fuerza.

***Ora pro nobis peccatoribus*: rogativas por los terremotos**

Un complejo ceremonial para las invocaciones se ha desarrollado en Venezuela, combinando el sentimiento religioso y las manifestaciones públicas de penitencia.

Es así como en 1813, a iniciativa del Muy Ilustre Ayuntamiento de Caracas (Navarro, 1967) se decidió la conmemoración anual perpetua del terremoto del 26 de marzo de 1812, con la ejecución de una procesión de penitencia pública en la que se solicitase la misericordia divina preservando a la ciudad del calamitoso sismo.

Ediles y capitulares de mutuo acuerdo transmitieron de manos de Don Narciso Coll y Pratt el acta levantada en consecuencia, acordándose en forma unánime (Navarro, 1967).

... que cada año se hiciese la dicha procesión el mismo día 26 de marzo, iniciándose a las 4 y media de la tarde y que en los años que cayere este día en la Semana Santa se trasladase al primer día festivo después de la octava de Pascua. En ella se llevarían las imágenes de Nuestro Señor Jesucristo crucificado y la de Nuestra Señora del Rosario de San Jacinto… implorada Patrona de terremotos de esta ciudad...

A raíz del terremoto que sacudió el área metropolitana de Caracas el 29 de octubre de 1900, la devoción de los caraqueños despierta súbitamente: misas, rogativas y procesiones se suceden en la atemorizada ciudad y sus alrededores. Una breve nota en el diario La *Linterna Mágica* recuerda a las gentes que para estas ocasiones San Emigdio "…*es el abogado de los temblores*. Dirigirle, pues, las rogativas y oraciones correspondientes" (*La Linterna Mágica*, 31 de octubre de 1900).

El patronazgo antisísmico de Nuestra Señora de Las Mercedes es retomado por los fieles y, en la entrada del templo de Altagracia, se erige una imagen de la Abogada contra Terremotos, colocada de espaldas al Ávila (actual Waraira Repano). En las cuatro caras de su pedestal, son puestas cuatro placas de mármol con las siguientes inscripciones:

Hagiografía sísmica mínima

Si bien las interpretaciones y estudios provenientes de diferentes autores parecen insinuar un particular santo o devoción en un evento sísmico dado, todo indica una disposición específica en los aspectos de la vida de los santos antisísmicos e incluso en las advocaciones a la Virgen María, partiendo de una base común: la presencia española en América, así como la especial fe de las órdenes sacerdotales imperantes y su influencia en la población.

Tal es el caso de Nuestra Señora de Las Mercedes, más comúnmente citada como la Redentora de los Cautivos (De Carrocera, 1926) cuya data se remonta desde 1766, se prolonga hasta 1812 e incluso es invocada en1900 en la población de Río Chico, abatida por el sismo y cuya santa patrona será la misma.

Esta imagen actualmente es venerada en el santuario de los Hermanos Menores Capuchinos. En todo caso se da una transmutación del cacao a los sismos y así la Virgen de la Merced pasa de ser Patrona de los Cultivadores de Cacao a Abogada de los Terremotos debido al sismo ocurrido el día 21 de octubre de 1766, evento que se abatió sobre la capital, pero sin causar víctimas fatales (Duarte, 1974) y que en la historia sísmica nacional se conoce como el terremoto de Santa Úrsula.

Tras escondidos, "obsoletos y" poco consultados textos, la oscura explicación yace más en el ámbito terrenal que en lo divino.

La obligación del Cabildo con la Iglesia, luego del sismo de 1812 en Caracas, cumplió a cabalidad su obligación de celebrar el día de Nuestra Señora [de Las Mercedes] con Misa Solemne y Procesión en honor del Patronato [se refiere al Patronato de los Padres Mercedarios] que en ella reconocía sobre las plantaciones de cacao (de Utrera, 1938).

Es más que elocuente la solemnidad con la que el acto se dispuso. No obstante, con el tiempo y las transformaciones de la ciudad, el Ayuntamiento de Caracas se desligó del compromiso so pretexto de falta de fondos y en apariencia en 1822, tras 10 años de cumplimiento dejó de practicarlo con las rogativas pro tempore terraemotus como se había hecho tiempo atrás (Navarro, 1967).

En un acuerdo entre los cabildantes, representantes de la Corona Española y los sacerdotes mercedarios, quienes entregaban en especie o en dineros una cuota impositiva a Cabildo, *ergo* al Rey, "permitía" contar con una Patrona de los Cultivadores de Cacao. La tozudez de un fraile al negarse a recoger cacao para Su Majestad, derivó en un disgusto religioso-impositivo dirimiéndose la querella en Cabildo un 20 de febrero de 1817, cuando pudo más la justicia ordinaria que la eclesiástica y en consecuencia la Virgen de la Mercedes "abandona" su patronazgo sobre las plantaciones de cacao. No hay duda que lo real, dominó sobre lo religioso.

Afectada Caracas por el Sismo del 21 de octubre de 1766, la imagen de Nuestra Señora de la Mercedes había sido trasladada a la Catedral la noche anterior al evento y por esto, el Cabildo le otorga el título de Abogada de los Terremotos acordándose mandar a hacer una tarjeta de plata con las siguientes palabras alusivas:

Servatrice Nostra die XXI Oct. A.D. M.N. MDCCLXVI [En latín, en el original] , trabajo que se encarga al orfebre Pedro

Ignacio Ramos de acuerdo con lo señalado por el investigador Carlos Duarte (1974) quien descubre la autoría de la tarjeta, aspecto escasamente conocido hasta entonces.

Rojas (1982) señala en sus Crónicas de Caracas, las sentencias aparecidas en reverso de la tarjeta de plata, las cuales dicen:

Tú lo has salvado todo, incluso a las bestias, oh Señora. Ex. Salmo / Tú eres la redención de los cautivos y la salvación de todos. San Efrén / Tú eres la causa de nuestra salvación y de nuestra salvación. Ex. Ovidio / Nosotros también te proclamamos por la balanza y (eternamente más). Ex. Ovidio.

Como se puede colegir nuevamente, aunque por circunstancias diferentes, es por la intervención del Cabildo el otorgamiento del título de patrona antisísmica y la Virgen de Las Mercedes es motivo de devoción en 1766 antes que, en 1812, siendo su advocación doble: cacao y terremotos, hasta que, por situaciones político-impositivas, tal como se expuso, cae en desgracia y es eliminado su patronazgo sobre el *Theobroma Cacao L.*

Ha de señalarse que a la par de esta advocación, se presenta igualmente a la Virgen del Rosario, imagen mantenida en la Catedral de Caracas, a la cual se le mantuvo misa votiva y tradicional con las preces del día del sismo y como memoria perpetua del evento, sumada a la influencia sobre la independencia de la nación.

Al respecto Rodríguez (2007) señala que la imagen ubicada en el Convento de San Jacinto y cuya devoción parte de una muy distinguida dama caraqueña de nombre María Pérez, de cuyo nombre deriva la actual urbanización "*Maripérez*" es de atractiva devoción de todos los vecinos, que la reconocen como eficaz patrona contra la violencia de los temblores (Rodríguez, 2007). Situación igualmente contemplada por San Roque, San Felipe y otros santos.

Con las devociones mencionadas, así como los trabajos revisados para la presente investigación, se muestra el significado entre los pobladores de la ciudad de la eficacia que se pretendía dar a las creencias religiosas, mas su influencia no quedaba allí. Tal como se ha mencionado con San Roque para 1812, el mismo entrará nuevamente al pueblo de El Valle [se trata de la urbanización caraqueña de El Valle al occidente del Área Metropolitana de Caracas] (André Singer, *com. pers*., 2009) como patrono, protegiendo que lo destruyese el sismo. Es singular esta devoción y merecería una explicación detallada, no objeto de este trabajo, toda vez que este santo tiene una particularidad notable: es patrón de los solteros; de las enfermedades del ganado; de los perros; las epidemias; contra las acusaciones falsas; de los inválidos; de dolores en las rodillas; de las epidemias y plagas; contra la peste; como auxilio en las enfermedades de la piel; patrono de los cirujanos, adoquinadores, pedreros y marmolistas.

Como es obvio, no existe connotación alguna de su gracia y protección ante eventos sísmicos, todo lo contrario, a decir de la larga lista; San Roque va en auxilio de todo y de todos, mas ello no le quita importancia, que será detenidamente averiguada, y donde se cruzan sus santificas dotes y la protección contra los terremotos que se le atribuyen.

Otro de los santos que influirá por su intercesión ante Dios en 1812, será San Felipe en la ciudad de Barcelona, actual estado Anzoátegui (De Lima, 1953) afectada como estuvo la ciudad, colapsado su templo e incendiado el mismo, la ya de por sí venerada imagen es víctima también de los estragos del sismo quedando de ella tan sólo su cabeza. Primo Moreno (De Lima 1953) cuyos datos precisos se ignoran, se hace de la cabeza de la imagen y afirmó para la época, que la misma ha perdido ya el número de gentes que ha salvado de calamidades... No refiere cuales, pero en idéntica forma le atribuye cualidades antisísmicas.

Los casos antes mencionados poseen a la vez un patronato citadino, caso de Caracas y Barcelona como ciudades principales, y uno local, Río Chico, para Nuestra Señora de las Mercedes además de una población, en el caso de San Roque, de difícil explicación ante la multiplicidad de aspectos y utilidades que el mismo tiene. No obstante, no hay dudas que es factible que a todo lo largo de la zona sismogénicamente activa cada ciudad o poblado posea un patrono que ampare a la población de los terremotos.

CONCLUSIONES

La costumbre generalizada de las poblaciones venezolanas, no son excepción alguna de otras zonas geográficas cercanas o lejanas; existe una muy clara representación de los santos y de las advocaciones a la Virgen María como abogados divinos frente a los eventos naturales adversos, de allí el término *hagiografía sísmica*, de reciente empleo por André Singer y que con buen tino lo viene aplicando en sus trabajos de investigación. Es evidente el nexo "situación natural extrema" con lo tangible que resulta el tema religioso, pero no se ha de abusar de este último. Se exagera el lenguaje sismológico entre legos en la materia. Acá resulta la figura santificante, la mediadora. Lo tangible nunca será el famoso epicentro, término propio de sismólogos y que no puede alcanzar la población, menos entender. Entre comillas, lo tangible, lo accesible en la inmediatez del evento, será siempre Dios.

Se hace necesaria una investigación multidisciplinaria que no descuide los ámbitos de movilidad que tiene la ciencia sismológica en su mejor acepción y la historia sísmica. Ello contribuirá a elaborar una suerte de catálogo de situaciones confusas y aclararlas a la luz de las 2 disciplinas. El hecho no está en que cada uno trabaje en su ámbito particular, sino que comparta con el otro lo común en ambas. No minimizar el trabajo del sismólogo ni realzar el del historiador o viceversa. De ambas disciplinas se puede obtener mucho y acá en nuestra nación, estamos apenas comenzando.

Un detallado estudio a nivel local, municipal y estadal en Venezuela, bien pudiese dar luz sobre la cantidad de santos o devociones antisísmicas o sismorresistentes, e incluso de

aquellas que, atribuyendo cualidades mágico-religiosas, carecen de ellas. Simplemente han pasado de unos a otros por mera tradición oral y sería enormemente interesante, su estudio.

En tal sentido, debemos considerar que la importancia de conocer y comprender las respuestas que, a lo largo de su historia, un colectivo esgrime frente a un evento sísmico, particularmente si se trata de un terremoto destructor, radica en que estas acciones y reacciones, coadyuvan en la construcción y reconstrucción del *imaginario sísmico*, de las representaciones sociales del desastre y de la percepción del riesgo; elementos estos que, según su configuración y sus contenidos, pueden aumentar o disminuir el nivel de vulnerabilidad de una sociedad frente a la irrupción de un evento sísmico.

FUENTES CONSULTADAS

ALFONZO YAZ, A. Mons. y LOUREIRO, D. Pbro. (s/f) *La Catedral de Caracas*. 24 pp

ALTEZ, R. 2006. El desastre de 1812 en Venezuela. Sismos, vulnerabilidades y una patria no tan boba. *Universidad Católica Andrés Bello. Fundación Polar 515 páginas*, Caracas.

BOTARO LUPI, L. E. (1998) TOVAR, *Historia, feria y tradición*. Discurso pronunciado en sesión solemne de la Asamblea Legislativa del estado Mérida y la municipalidad de Tovar, con motivo del día patronal de Nuestra señora de Regla. Tovar, 8 de septiembre de 1998.
[En línea] <vereda.saber.ula.ve/Tovar/Pdf/TOVAR.pdf [9 de marzo de2010].

BRICENO IRAGORRY, L. (2001) *El Paraninfo del Palacio de las Academias, Personajes*. Gaceta Médica de Caracas, marzo 2001, 109(3):373-386, [Documentación en línea,[https://www.researchgate.net/profile/Leopoldo-Briceno-Iragorry/publication/335172916_El_Paraninfo_del_Palacio_de_las_Academias_Personajes/links/5d546a96299bf16f0738d7fd/El-Paraninfo-del-Palacio-de-las-Academias-Personajes.pdf]

BUENO E, A. fr. (2002) *El Convento de San Jacinto: Una Presencia Polifacética*. [En línea] <http://www.dominicos.org.ve/betica/paginas/jacinto_historia.html

ANTONIO F, R. (2002) *El Convento de San Jacinto: Una Presencia Polifacética*. [En línea] <http://www.dominicos.org.ve/betica/paginas/jacinto_historia.html [18 de noviembre de 2008].

CABALLERO, J.H. (2007) La percepción de los desastres: Algunos elementos desde la Cultura. Bogotá, *Revista Gestión y Ambiente. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*, 10(2):109-115.
https://www.redalyc.org/pdf/1694/169419816009.pdf

DE CARROCERA, C. FR. (1926) Apostolado de los Franciscanos Capuchinos en Caracas: 1891-1925. *Tipografía Americana, 326 pp.*
https://archive.org/details/apostoladodelosf00carr/page/n7/mode/2up

DE LIMA, S. (1953) Hombres y tradiciones de mi tierra. *Tipografía Peñalver. Barcelona,* Anzoátegui. https://es.scribd.com/document/854260151/Barcelona-y-su-historia-Salomon-de-Lima

DUARTE, C. (1974) El orfebre Pedro Ignacio Ramos. Caracas *Editorial Equinoccio, Ediciones de la Universidad Simón Bolívar*. https://www.academia.edu/35262675/El_Orfebre_Pedro_Ignacio_Ramos

DE UTRERA, O. M. C. CIP. FRAY (1938) Nuestra Señora de las Mercedes. Su templo y culto en la ciudad de Caracas, *Tip. Franciscana, Ciudad Trujillo, Dtto. de Sto. Domingo, Rep. Dominicana.*
https://www.ecured.cu/Fray_Cipriano_de_Utrera

GARCÍA ACOSTA, V (2001) Los sismos en la historia de México. Tomo II: el análisis social. *Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Fondo de Cultura Económica, México*. https://www.goodreads.com/book/show/4842921-los-sismos-en-la-historia-de-m-xico-tomo-ii-el-an-lisis-social-edicio

JURADO, J. C. (2004) Terremotos, pestes y calamidades. Del castigo a la misericordia de Dios en la Nueva Granada. Siglos XVIII y XIX. *Procesos históricos. Revista de Historia y Ciencias Sociales. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, enero, número 5*. https://www.redalyc.org/pdf/200/20000503.pdf

LECUNA, V. (1812) El Terremoto de 1812. Caracas, *Fundación Polar Historia de Venezuela en Imágenes.*

CABALLERO, J. H. (2007) La percepción de los desastres: Algunos elementos desde la Cultura. Bogotá, *Revista Gestión y Ambiente. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*, 10(2):109-115.
https://www.redalyc.org/pdf/1694/169419816009.pdf

NAVARRO, E., NIC. MONS. (1967) La Catedral de Caracas y sus funciones de Culto. Materiales para el estudio de Caracas. *Imprenta Municipal de Caracas*. 134 pp.

OROPEZA, J. y ZAMBRANO, A. (2007) Elaboración de una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas. *Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica., Trabajo Especial de Grado*, *246 págs.* (*inédito*). https://www.researchgate.net/publication/260017256_ELABORACION_DE_UNA_BASE_DE_DATOS_DE_GEOLOGIA_URBANA_PARA_FINES_DE_MICROZONIFICACION_SISMICA_PARA_LA_CIUDAD_DE_CARACAS

PERALTA ROJAS, N. (2000) *Frase tergiversada*. Diario El Nacional. Caracas. pp. C-1, C-2.

PICÓN LARES, E. (1938) *Revelaciones de Antaño*, Tomo I, editorial Elite. 45-48.

PIBERNAT S. D.D. DE S.S., J. Mons. (1948) Huellas olvidadas. Relato Novecentista, Tipografía Garrido.

RENGIGO; M. y LAFAILLE, J. (2000) Reevaluación del sismo del 28 de abril de 1894. *Acta Científica Venezolana*, 51:160-175, 2000.
https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9244704&info=resumen

RIVERO, M. R. (1980) Memorias y Fantasías de algunas casas de Caracas. *Colección El Libro Menor, Academia Nacional de la Historia, Caracas.*
https://openlibrary.org/books/OL2784707M/Memorias_y_fantasi%CC%81as_de_algunas_casas_de_Caracas

RODRÍGUEZ, J. (2007) Arte colonial en Venezuela: Nuestra Señora del Rosario, siglo XVII. [En línea]. Caracas. *Universidad Central de Venezuela. Escuela de Arte, 30 de abril de 2007*. <htpp://artecolonialvenezuela.blogspot.com/2007/04/nuestra-seora-delrosario-siglo- xvii.html> [29 de julio de 2008].

ROJAS, A. (1982) *Crónicas de Caracas*. FUNDARTE. Colección Rescate, Editorial Arte, 71 pp., Caracas, Venezuela.

ROSTI P. (1968) Memorias de un viaje por América. *Facultad de Humanidades y Educación, Un. Central de Venezuela, Escuela de Historia*. https://archive.org/details/cronicas_de_caracas_aristides_rojas

SCHAEL, G. J. (1972) El Terremoto Cuatricentenario, lo que ocurrió la noche del 29 de julio de 1967. Gráficas Armitano, C. A., Antigua Gráficas Edición de Arte, C.A. https://ritosdeilacion.blogspot.com/2026/08/el-terremoto-cuatricentenario-dxlv.html

SOLANO MATA, F. (1998) El aporte de la ciencia geográfica en torno a los desastres: el análisis geográfico. [En línea]. Escuela de Geografía. Universidad de Costa Rica. http://www.reflexiones.fcs.ucr.ac.cr/documentos/79/el_aporte.pdf. [4 de agosto de 2009].

VELÁSQUEZ, M. (2008) Comunidad peruano-venezolana homenajeó al Señor de Los Milagros. [En línea] Nueva Prensa de Guayana. http://pastoralmcsdiocesisguayana.blogspot.com/2008/10/comunidadperuano- venezolana-homenaje.html>

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026: 496 – 499
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/193

LOS TERREMOTOS DE VENEZUELA: CUANDO LAS PÉRDIDAS NO TIENEN COBERTURA

Luis TINEO[1]

RESUMEN

Este artículo examina la brecha de protección financiera que pusieron en evidencia los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela. Se sostiene que las consecuencias económicas no eran inevitables sino el resultado de la ausencia de protección financiera previa, y se identifican los instrumentos y condiciones necesarias para corregirla: seguros paramétricos, fondos de contingencia, bonos catastróficos y microseguros que puedan proteger tanto la integridad fiscal del Estado como la capacidad de recuperación de las personas y propietarios afectados por el sismo. A partir de la experiencia de mecanismos mancomunados de riesgo como el *Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility* y de los sistemas de protección financiera soberana desarrollados en México y Colombia, la reconstrucción ofrece una ventana de política pública para construir la arquitectura financiera e institucional que Venezuela necesita para enfrentar futuros desastres.

ABSTRACT

The Venezuela earthquakes: When losses go uncovered

This article examines the financial protection gap exposed by the June 24, 2026 earthquakes in Venezuela. It argues that the economic consequences were not inevitable but the result of absent ex ante financial protection, and discusses how a combination of parametric insurance, contingency funds, catastrophe bonds, and microinsurance can protect both fiscal integrity and the recovery capacity of individuals and property owners affected by the disaster. Drawing on the experience of risk pooling mechanisms such as the Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility and the sovereign financial protection systems developed in Mexico and Colombia, reconstruction offers a policy window to build the financial and institutional architecture Venezuela needs.

Palabras clave: Protección financiera contra desastres, seguros paramétricos, brecha de aseguramiento, Venezuela, riesgo sísmico, financiamiento soberano del riesgo.
Keywords: Disaster financial protection, parametric insurance, insurance gap, Venezuela, seismic risk, sovereign risk financing.

Introducción

Cuando la tierra se mueve, lo primero que colapsa son las estructuras físicas. Lo segundo, menos visible e igualmente grave, es la capacidad de recuperarse de quienes sufrieron las pérdidas.

Los terremotos del 24 de junio encontraron a Venezuela con sus habitantes, viviendas, infraestructura y activos expuestos al riesgo sísmico. Y también sin una arquitectura financiera suficiente para protegerlos. Esa combinación de alta exposición y baja protección no es una fatalidad: es el resultado de decisiones que se tomaron, o que no se tomaron, mucho antes del sismo.

Una política de protección financiera frente a los desastres naturales no actúa sobre los daños físicos, sino sobre sus consecuencias económicas y financieras. Su función es asegurar que existan recursos disponibles cuando el riesgo se materializa: definir quién asume las pérdidas, con qué instrumentos y a qué costo, antes de que ocurra el evento. Sin esa política, la respuesta al desastre depende de lo que queda disponible después, que es siempre menos, más caro y más lento.

Venezuela llegó al 24 de junio sin esa política. La cobertura de seguros era exigua: las primas representaban apenas el 0,9% del PIB en 2024, frente al 3,2% en promedio en América Latina y el 4,6% en Chile (MAPFRE ECONOMICS 2024). Las reservas fiscales resultaban insuficientes para un evento de esta envergadura, y los mecanismos de transferencia de riesgo a los mercados de capitales eran prácticamente inexistentes, en un contexto de severas restricciones de acceso al financiamiento externo. Y la información sobre las cuentas nacionales, presupuesto público, y del sistema financiero, necesaria para diseñar cualquier estrategia de reconstrucción, tampoco estaba disponible (BALZA GUANIPA 2026).

Sin una arquitectura financiera que ordene la distribución de las pérdidas, cada quien absorbe lo que puede, y el resto se

[1] Gerente de Programas y Fondos Climáticos y de Gestión de Riesgos y Resiliencia en el Banco Mundial en Washington, D.C. Este artículo fue publicado originalmente en https://desafiofenix-venezuela.funindes.com/blog/ Correo-e: ltineo@worldbank.org

convierte en una carga sobre las finanzas públicas y la economía informal, cuando la capacidad de las personas, empresas y el propio Estado para enfrentarla está más mermada.

La distribución financiera del riesgo

Una política moderna de gestión financiera del riesgo parte de una premisa sencilla: las pérdidas deben tener una fuente de financiamiento antes de que ocurra el desastre. Algunas pueden retenerse por quienes están expuestos; otras pueden transferirse mediante seguros, reaseguros u otros instrumentos financieros. La combinación óptima depende de la frecuencia y severidad de los eventos y de la capacidad de los distintos actores para absorber las pérdidas.

La protección financiera previa no solo garantiza recursos: los hace más baratos. Según un análisis del Banco Mundial, una combinación de reservas, reasignaciones presupuestarias y seguros puede reducir el costo de la respuesta en un 25% frente a esperar la ayuda humanitaria, y los seguros duplican la relación costo-beneficio frente a las reasignaciones de emergencia (BANCO MUNDIAL y GFDRR 2016). Sin cobertura previa, los recursos no llegan a tiempo: la reparación de viviendas e infraestructura se posterga, las actividades productivas permanecen paralizadas y las necesidades de financiamiento se acumulan cuando el Estado tiene menos capacidad para atenderlas.

La magnitud del problema que esa protección busca resolver es considerable. En 2024, de los 11.600 millones de dólares en pérdidas económicas por catástrofes naturales en América Latina, apenas 1.500 millones estaban asegurados: el 87% de las pérdidas no tenía cobertura alguna (SWISS RE INSTITUTE 2026). Esta brecha de protección se agrava en países con mercados de seguros poco desarrollados, como Venezuela.

Volviendo a los terremotos del 24 de junio, según la evaluación rápida de daños post-desastre publicada por el Banco Mundial el 13 de julio de 2026, estos dejaron 19.600 millones de dólares en daños físicos directos. El 47% correspondió a las viviendas: pérdidas predominantemente privadas que recayeron sobre los propietarios, en su mayoría de escasos recursos. El 26% afectó a edificaciones no residenciales, de orden privado como los clubes recreativos, los centros comerciales y los pequeños comercios. El 27% restante correspondió a infraestructura pública: el aeropuerto de Maiquetía, el puerto de La Guaira, la red de agua y saneamiento, y la eléctrica, y algunas escuelas y centros de salud, a lo que se suman los daños a las viviendas de la Gran Misión Vivienda Venezuela (BANCO MUNDIAL 2026). Son pérdidas que el Estado debe asumir sin importar su situación fiscal.

La distinción entre pérdidas privadas y públicas es relevante a decir de la distribución de los daños. Cuando las propiedades privadas no están aseguradas, las pérdidas recaen inicialmente sobre los propietarios; pero cuando sus recursos no alcanzan, esa pérdida privada termina convirtiéndose en una presión sobre las finanzas públicas porque obliga al Estado a ofrecer subsidios, soluciones habitacionales y otras ayudas de recuperación. Lo privado sin cobertura se vuelve público por defecto. En ausencia de protección financiera previa, el costo del desastre no desaparece: se traslada.

Una parte de este problema tiene raíces técnicas. La calidad sísmica de una vivienda depende de al menos cuatro condiciones que deben cumplirse simultáneamente: que el suelo sea apto para la construcción, que el proyecto se diseñe conforme a las normas sismorresistentes vigentes, que la obra se ejecute fielmente según ese proyecto con los materiales adecuados, y que lo construido se use para el fin para el que fue proyectado. En Venezuela, un eslabón muy débil es la inspección: los municipios aprueban proyectos pero no tienen capacidad para verificar si la construcción se ejecuta según las normas ni que los materiales cumplan las especificaciones. Sin esa verificación independiente, las aseguradoras no pueden certificar la resistencia sísmica de la estructura y rehúsan emitir cobertura. Una parte significativa del parque habitacional venezolano es, en la práctica, inasegurable.

Al problema técnico se suma uno financiero estructural. Según los indicadores de desarrollo mundial del Banco Mundial, el crédito bancario al sector privado en Venezuela representa menos del 2% del PIB, frente a un promedio del 55% en América Latina y el Caribe (BANCO MUNDIAL 2023). En ese contexto de contracción severa del financiamiento privado, el crédito hipotecario es prácticamente inexistente, lo que desactiva un mecanismo que en mercados funcionales opera de forma casi automática: cuando un banco otorga una hipoteca, exige como condición un seguro que proteja el activo que garantiza el crédito. Sin hipoteca, ese incentivo desaparece, y la vivienda queda desprotegida por partida doble: sin financiamiento para su construcción o mejora, y sin cobertura para su pérdida.

Sin esa cobertura, los afectados enfrentan simultáneamente la pérdida del bien, la interrupción de los ingresos y la necesidad de financiar la reparación con ahorros que en muchos casos no existen, préstamos inaccesibles o una ayuda pública que llega tarde y cubre poco. Lo que comenzó como un daño físico se convierte en una crisis financiera que, en los casos más vulnerables, hace imposible la recuperación.

El dinero que debía estar disponible con anterioridad

La preparación financiera frente a los desastres naturales exige combinar mecanismos según la magnitud y frecuencia de las pérdidas: reservas y fondos de contingencia para liquidez inmediata, financiamiento contingente para pérdidas mayores, y seguros o instrumentos de mercado para eventos extremos. Su ventaja es que las decisiones se toman antes del desastre, cuando aún es posible negociar condiciones y obtener cobertura a costo razonable. Buscar recursos después significa hacerlo cuando la demanda es mayor, la posición fiscal es más débil y los mercados descuentan el riesgo país con mayor dureza.

Entre los instrumentos que se podrían considerar para Venezuela destacan los seguros paramétricos, que activan pagos automáticos al verificarse un parámetro físico predefinido: la magnitud registrada de un sismo, el nivel de precipitación acumulada en lluvias intensas, el caudal que

determina el desbordamiento de ríos, o el índice de humedad del suelo que define una sequía, sin necesidad de evaluar pérdidas individuales, poniendo recursos a disposición en cuestión de días.

A diferencia de los seguros tradicionales de indemnización, que requieren la tasación individual de cada pérdida, un proceso que puede tomar meses en el contexto de un desastre masivo, los seguros paramétricos desvinculan el pago del daño efectivo: el disparador es el evento físico, no la pérdida verificada. Eso elimina el riesgo moral, reduce los costos de transacción y, sobre todo, garantiza liquidez inmediata en el momento en que más se necesita. La contrapartida es el riesgo de base: la posibilidad de que el parámetro se active sin que el asegurado haya sufrido pérdidas significativas, o que no se active pese a haberlas sufrido. Ese riesgo se gestiona mediante el diseño cuidadoso del disparador y la calibración del nivel de activación con datos históricos de pérdidas.

La región del Caribe lo ha comprobado a través del *Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility* (CCRIF), el primer mecanismo mancomunado de seguro paramétrico multi-país del mundo, creado en 2007, que agrupa a gobiernos caribeños y centroamericanos para transferir colectivamente el riesgo de huracanes, terremotos y precipitaciones extremas a los mercados internacionales de reaseguro. La mancomunación permite reducir las primas individuales al distribuir el riesgo entre países con exposiciones distintas, y el mecanismo paramétrico garantiza desembolsos en un plazo máximo de catorce días hábiles tras el evento. Desde su creación, el CCRIF ha realizado 82 pagos a sus gobiernos miembros por un total cercano a 500 millones de dólares en cuestion de días inmediatamente posteriores al desastre (CCRIF SPC 2025). Venezuela, expuesta a riesgos sísmicos e hidrometeorológicos comparables, nunca participó en mecanismos de este tipo.

En América Latina, México y Colombia han construido las estrategias más avanzadas de protección financiera contra desastres en la región. México opera desde hace dos décadas un sistema de tres capas: un fondo de reservas fiscales para emergencias menores, reaseguro soberano para eventos de magnitud media, y bonos catastróficos que transfieren el riesgo extremo directamente a los mercados internacionales de seguros a cambio de una prima; y bonos catastróficos, instrumentos de deuda en los que el principal queda en riesgo: si el evento paramétrico se activa, el emisor retiene los fondos en lugar de reembolsarlos al inversionista, convirtiendo el mercado de capitales en un reasegurador de última instancia.

En 2017, tras el terremoto de Chiapas, México activó su cobertura paramétrica y en dias recibió 150 millones de dólares antes de que cualquier evaluación de daños estuviera completa. Un año después, el país lideró una emisión conjunta con Colombia, Chile y Perú por 1.360 millones de dólares, la primera operación de este tipo que agrupó a varios países latinoamericanos en una estructura regional de transferencia de riesgo, reduciendo los costos de estructuración y ampliando la base de inversionistas (BANCO MUNDIAL 2020). Colombia, por su parte, adoptó en 2013 una estrategia nacional de gestión financiera del riesgo de desastres que articuló tres instrumentos en una sola arquitectura: fondos de contingencia para liquidez inmediata, una línea de crédito contingente con el Banco Mundial activable tras la declaratoria de desastre, y coberturas de reaseguro para los activos públicos (BANCO MUNDIAL 2018).

La estrategia de ambos paises se distingue por haber incorporado la modelación probabilística de riesgos como base técnica para dimensionar cada capa de protección y asignar los instrumentos según la frecuencia e intensidad esperada de los eventos, y esa arquitectura continúa operando: México la activó tras el terremoto del 2021 en las costas de Chiapas, y Colombia hizo otro tanto tras el terremoto que afecto el suroccidente recientemente en agosto de 2026.

En Venezuela no existe información probabilística pública comparable que permita caracterizar la exposición al riesgo ni estimar las pérdidas potenciales por tipo de amenaza. El riesgo sísmico, las inundaciones, las sequías y los derrumbes producen distribuciones de pérdidas distintas, y cada uno requiere instrumentos calibrados a su propia frecuencia e intensidad, que utilizan la modelación probabilística como base para las decisiones de protección financiera (LEY-BORRAS y FOX 2015; PATEL et al. 2020). Sin esa base técnica, no es posible determinar qué proporción del riesgo retener, qué transferir al mercado y qué cubrir mediante financiamiento contingente.

Construir la protección financiera que faltó

Los terremotos del 24 de junio no crearon la vulnerabilidad financiera de Venezuela: la hicieron visible. La reconstrucción ofrece la oportunidad de corregir esa brecha, incorporando los riesgos sísmicos y climáticos como variables permanentes de la política fiscal y la planificación económica.

Esa tarea tiene además una dimensión institucional que no puede ignorarse. Venezuela contaba desde 2009 con una Ley de Gestión Integral de Riesgos que preveía exactamente los mecanismos que hoy urgen, y que permaneció sin reglamentar ni implementar durante 17 años (MEJIA BETANCOURT 2026). Esa ausencia de institucionalidad ha incentivado a los agentes intermediarios de seguros a retener fondos destinados al pago de primas sin trasladarlos a las aseguradoras, dejando a los asegurados sin protección real cuando ocurre el siniestro. Sin supervisión efectiva de los fondos, ampliar la cobertura de seguros enfrenta un obstáculo que va más allá de la penetración del mercado: la ausencia de un marco institucional que garantice que las primas pagadas se conviertan efectivamente en protección. La brecha financiera y la brecha institucional son dos caras del mismo problema.

La protección financiera no termina en el Estado ni en los mercados. En Venezuela, donde la cultura del seguro es prácticamente inexistente, la mayoría de las personas deja vivienda, bienes y fuentes de ingreso completamente expuestos. Ampliar esa cultura requiere que el seguro sea accesible en términos reales. Venezuela debería considerar la adopción del microseguro catastrófico: productos de prima baja, cobertura simple y proceso de reclamación ágil, adaptados a poblaciones con ingresos irregulares y escasa familiaridad con los servicios financieros.

Los microseguros han dejado de ser un experiment. Según un estudio de IDB Invest sobre el mercado de microseguros en América Latina y el Caribe, estos productos ya protegen a más de 75 millones de personas en la región y se han consolidado como el instrumento más eficaz para extender la resiliencia financiera a las poblaciones de menores ingresos (IDB INVEST 2025). Colombia hoy asegura a más de 1,5 millones de personas mediante productos distribuidos por redes comunitarias y microfinancieras. Perú financia íntegramente con recursos públicos un seguro agrícola catastrófico que cubre dieciocho tipos de siniestros, incluyendo sismos, inundaciones y sequías, y que en mayo de 2019 desembolsó 60 millones de dólares tras el terremoto que afectó la región de Loreto. Bolivia ha desarrollado productos con primas de menos de dos dólares mensuales para sectores de bajos ingresos.

Conclusión

Una lección que emerge de los terremotos del 24 de junio es que ninguna respuesta fiscal reactiva iguala en eficacia ni en costo a la protección financiera previa al desastre. Para Venezuela, esto implica incorporar el riesgo de desastre como variable permanente de la planificación fiscal, estructurar subsidios focalizados que extiendan el acceso al seguro particularmente a los más vulnerables, y complementarlos con esquemas de crédito que permitan a los afectados recuperar sus activos y medios de sustento sin comprometer su capacidad de recuperación futura.

Al Estado venezolano le corresponde construir esta arquitectura antes del próximo desastre. La experiencia en América Latina y el mundo ofrece referencias concretas para informar su diseño e implementación. De ello dependerá la reducción del costo de las inevitables pérdidas y la construcción de un país financieramente mejor preparado para la próxima vez que la tierra se mueva.

Referencias

BALZA GUANIPA R. 2026. Análisis de datos y estrategias post-desastre en Venezuela. Agosto de 2026. Desafío Fénix Venezuela. https://desafiofenix-venezuela.funindes.com/analisis-de-datos-y-estrategias-post-desastre-en-venezuela/

BANCO MUNDIAL. 2018. Sovereign Disaster Risk Finance in Middle-Income Countries. Washington D.C.: World Bank Group. https://www.worldbank.org

BANCO MUNDIAL. 2020. FONDEN Mexico Catastrophe Bond: Case Study. Washington D.C.: World Bank Group. https://thedocs.worldbank.org/en/doc/737151585254940284-0340022020/original/FONDENMexicoCatBondCaseStudy3-4-2020final.pdf

BANCO MUNDIAL. 2023. Domestic Credit to Private Sector (% of GDP): Venezuela. Washington D.C.: World Development Indicators. https://data.worldbank.org

BANCO MUNDIAL y GFDRR. 2016. Pay Now or Pay Later? Making Financial Sense of Disasters. Washington D.C.: World Bank Group / Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. https://www.gfdrr.org/en/feature-story/pay-now-or-pay-later-making-financial-sense-disasters

BANCO MUNDIAL. 2026. Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report: Venezuela Earthquakes – June 24, 2026. 13 de julio de 2026. Washington D.C.: World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/099072826152566231/pdf/GRADE-Report-Venezuela-Earthquakes-June-24-2026.pdf

CCRIF SPC. 2025. Annual Report 2024-2025: Parametric Power – Financing Resilience in a Multi-Hazard Environment. George Town, Cayman Islands: Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility Segregated Portfolio Company. https://www.ccrif.org/publications/annual-report/ccrif-spc-annual-report-2024-2025

IDB INVEST. 2025. Microinsurance: The New Frontier for Financial Resilience in Latin America and the Caribbean. Washington D.C.: IDB Invest. https://idbinvest.org/en/blog/digital-economy/microinsurance-new-frontier-financial-resilience-latin-america-and-caribbean

LEY-BORRAS R. y B. D. FOX. 2015. Using Probabilistic Models to Appraise and Decide on Sovereign Disaster Risk Financing and Insurance. Policy Research Working Paper No. 7358. Washington D.C.: World Bank Group. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22221

MAPFRE ECONOMICS. 2024. El mercado asegurador latinoamericano en 2024. Madrid: Fundación MAPFRE. https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/media/group/1129069.do

MEJIA BETANCOURT A. 2026. Venezuela tenía una ley para gestionar los desastres: durante 17 años no la hizo funcionar. Septiembre de 2026. Desafío Fénix Venezuela. https://desafiofenix-venezuela.funindes.com/venezuela-tenia-una-ley-para-gestionar-los-desastres-durante-17-anos-no-la-hizo-funcionar/

PATEL P. et al. 2020. Natural Disaster Insurance for Sovereigns: Issues, Challenges and Optimality. IMF Working Paper WP/20/03. Washington D.C.: International Monetary Fund. https://www.imf.org/-/media/files/publications/wp/2020/english/wpiea2020003-print-pdf.pdf

SWISS RE INSTITUTE. 2026. Natural Catastrophes Report 2025. Sigma No. 1/2026. Zurich: Swiss Re Institute. https://www.swissre.com/dam/jcr:4b5669a3-b7e2-4682-bf96-a597085958a6/sigma-1-2026-natural-catastrophes-report.2026-04-29-12-27-10.pdf

Geotechnical Extreme Events Reconnaissance
Turning Disaster into Knowledge

Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 72. Edición especial, octubre 2026
https://n2t.net/ark:/42414/banih/722026/194

Terremotos del 24 de junio de 2026 de San Felipe y Catia La Mar, Venezuela
Informe de reconocimiento sísmico de GEER

Líderes del equipo

Ashly Cabas, North Carolina State University
Rodolfo B. Sancio, Geosyntec Consultants, Inc.

Editores del informe:

Ashly Cabas, North Carolina State University
Juan Perri, Exponent
Rodolfo B. Sancio, Geosyntec Consultants, Inc.

20 de agosto de 2026

Informe de la Asociación GEER 087

Preparado por

Miembros del equipo GEER (en orden alfabético)

Nombre	Afiliación
Ashly Cabas	Profesor asociado en NC State, EE. UU.
Celso Castro-Bolinaga	Profesor asociado en NC State, EE. UU.
Daniel León	Estudiante, UNIMET
David Barba Galdamez	Estudiante de posgrado en NC State, EE. UU.
Eduardo Carrillo	Profesional en Geosyntec Consultants, EE. UU.
Eduardo García	Universidad Central de Venezuela
Eduardo Núñez	Profesor asociado, Univ. Católica de la Santísima Concepción, Chile
Ericka Jiménez	Estudiante de pregrado, UCAB
Ernesto Toro	Estudiante de pregrado, UCAB
Felipe Kuncar	Investigador postdoctoral en la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda.
Francisco Pinto	Profesor asistente, Universidad de Chile



Geotechnical Extreme Events Reconnaissance
Turning Disaster into Knowledge

Nombre	Afiliación
Gonzalo Montalva	Profesor de la Universidad de Concepción, Chile
Gustavo Iribarren	Profesor de la UNIMET; expresidente de la SVDG
Hailey-Rae Rose	Ingeniera senior en Exponent, EE. UU.
Heriberto Echezuria	Profesor de la UCV y la UCAB; actual presidente de la Sociedad Venezolana de Geotecnia
Isabella Sánchez	Estudiante de pregrado, UNIMET
Javier García	RGR Ingeniería, Venezuela
Jenny Ramírez	Ingeniera geotécnica sénior, Geosyntec Consultants, EE. UU.
Jhendiel Anato	Ingeniero, UCV
José Ignacio Amundaray	Consultor, A.I.G. Venezuela
Juan F. Perri	Ingeniero principal en Exponent, EE. UU.
Karol Sánchez	Estudiante asistente de posgrado en NC State, EE. UU.
Ke Xu	Investigador postdoctoral en NC State, EE. UU.
Lorne Arnold	Profesor asistente en la Universidad de Washington Tacoma, EE. UU.
Luis Fargier-Gabaldón	Profesor asociado de la Práctica; Universidad de Notre Dame, EE. UU.
Melanie Dickson	Investigadora asociada en NC State, EE. UU.
Nicole Paul	Investigadora postdoctoral en ETH Zurich, Suiza
Patricia Varela	Geóloga sénior en Geosyntec Consultants, EE. UU.
Ramón Mata-Lemus	Profesor Asistente; Universidad San Sebastián, Chile
Rodolfo Sancio	Vicepresidente de Operaciones, Geosyntec Consultants, Inc., EE. UU.
Shiying Nie	Científica senior especializada en sismología en Karen Clark & Company, EE. UU.
Valentina Páez	Universidad Central de Venezuela
Vicmarly Paredes	Estudiante de pregrado, UCAB
Wagdi Naime	Profesor de la Universidad Central de Venezuela; actual secretario general de la Sociedad Venezolana de Geotecnia
William Zakka	Investigador de posgrado en la Universidad de California, Berkeley, EE. UU.

Geotechnical Extreme Events Reconnaissance
Turning Disaster into Knowledge

RESUMEN EJECUTIVO

El 24 de junio de 2026, dos terremotos afectaron el norte de Venezuela con una diferencia de aproximadamente 30 segundos: uno de magnitud 7.2 cerca de San Felipe, Yaracuy, seguido de otro de magnitud 7.5 frente a la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar. La secuencia se produjo dentro de la amplia zona de límite entre las placas del Caribe y Sudamericana, donde el movimiento dextral se distribuye a través de los sistemas de las fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar y sus alrededores. Los terremotos produjeron impactos severos y espacialmente variables en toda la región centro-norte del país, donde los daños más significativos se concentraron en La Guaira, particularmente en Catia La Mar, Caraballeda, Macuto, Maiquetía y las comunidades costeras vecinas, así como impactos localizados pero notables en Caracas, incluyendo San Bernardino y Los Palos Grandes. Los sucesos provocaron numerosas muertes, daños extensos en edificios e infraestructuras, el desplazamiento de residentes, la interrupción de servicios esenciales y pérdidas materiales directas estimadas en decenas de miles de millones de dólares estadounidenses.

La Asociación GEER organizó una operación de reconocimiento híbrido rápido para documentar los efectos geotécnicos, geológicos, sismológicos y relacionados con la infraestructura de estos terremotos. El reconocimiento combinó la recopilación remota de datos, la revisión de imágenes satelitales y aéreas, la georreferenciación a través de redes sociales y medios de comunicación, la colaboración con profesionales y estudiantes locales, visitas de campo, levantamientos con drones, una investigación limitada del subsuelo y la coordinación con organizaciones nacionales e internacionales. El equipo de GEER trabajó en estrecha colaboración con instituciones académicas venezolanas, la Sociedad Venezolana de Geotecnia, ingenieros locales, estudiantes, agencias gubernamentales y organizaciones internacionales para recopilar y preservar datos perecederos antes de que las actividades de limpieza, demolición, lluvias y la respuesta a emergencias alteraran las evidencias de fallas en el terreno. Este informe ofrece un registro coordinado y documentado de las primeras observaciones e identifica las necesidades prioritarias para futuras investigaciones.

La ruptura de magnitud 7.5 se localizó cerca del corredor costero densamente poblado de La Guaira, y la secuencia parece haber implicado una progresión de la ruptura de oeste a este a lo largo de segmentos de fallas de desplazamiento lateral. Esta geometría de la fuente, combinada con el corto intervalo entre los dos grandes eventos, probablemente contribuyó a que se produjeran demandas severas de movimiento en las zonas costeras cercanas a la fuente. Al mismo tiempo, las condiciones geológicas de sitio eran importantes. Los abanicos aluviales costeros, rellenos, los depósitos de las desembocaduras de los ríos y los depósitos de suelo gran espesor en La Guaira proporcionaron condiciones geológicas favorables para la amplificación del movimiento del suelo, la licuación, la expansión lateral, el asentamiento y la deformación diferencial del terreno. En Caracas, los patrones de daños parecen haber estado influenciados por la geometría de la cuenca, el espesor de los sedimentos y la distribución de edificios más altos en áreas con períodos de vibración del suelo (períodos de sitio) más prolongados.

Para el momento de elaboración de este informe, no se disponía de registros públicos de FUNVISIS del movimiento fuerte del terreno, lo que limitó la evaluación directa de los movimientos del terreno y la respuesta local del sitio.

El equipo de GEER documentó evidencia de una posible deformación cosísmica cercana a la superficie y la ruptura del terreno a lo largo de tramos del corredor costero de La Guaira. Los productos del desplazamiento obtenidos mediante satélites, la correlación de imágenes ópticas, las imágenes de drones y las observaciones de campo permitieron identificar fisuras lineales y deformaciones cerca de Maiquetía, la zona del aeropuerto y Caraballeda. Algunos elementos se ubicaron cerca de trazas cartografiadas o inferidas del sistema de fallas de San Sebastián y los sistemas relacionados, mientras que otros patrones de deformación fueron más consistentes con el desprendimiento lateral, el movimiento gravitacional o la alteración de la superficie del suelo inducida por la licuación. Debido a que varios mecanismos pueden producir manifestaciones superficiales similares, distinguir la ruptura tectónica de la deformación secundaria del terreno sigue siendo una prioridad para la investigación de campo a través del levantamiento topográfico, la excavación de zanjas y análisis geodésicos.

La licuación y las fallas del suelo inducidas por la licuación fueron algunos de los efectos geotécnicos más importantes que se observaron. La mayor concentración de evidencia se produjo a lo largo del corredor costero de La Guaira, incluyendo Catia La Mar, Maiquetía, La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena. Entre las manifestaciones relacionadas con la licuación tenemos los volcanes de arena, la eyección de sedimentos, el agrietamiento del suelo, el asentamiento, la alteración del pavimento, la deformación de muelles y puertos, y el desprendimiento lateral hacia superficies libres como playas, canales fluviales y bordes costeros. Se hicieron observaciones particularmente significativas en las cercanías de Playa Grande, Playa Puerto Viejo, la Marina Deportiva, Marina de Caraballeda, Av. José María España, la zona del centro comercial Doña Bárbara y otros rellenos costeros bajos. La geometría de muchas grietas, que eran casi paralelas a las líneas costeras, los bordes de los puertos y los canales de agua, indica un desprendimiento lateral durante movimientos fuertes del terreno, y las mediciones locales documentan anchos y desplazamientos de las grietas en el orden de unos pocos milímetros a varios cientos de milímetros. Se documentaron o informaron casos adicionales de licuación o rupturas del suelo similares a la licuación cerca del valle del río Yaracuy, Boca de Aroa, Puerto Cabello y otras localidades de la costa central. Debido a que las primeras imágenes y las visitas sobre el terreno se hicieron después de que las actividades de respuesta a emergencias ya habían modificado muchas superficies del suelo, el inventario documentado debe interpretarse como una estimación del límite inferior del desencadenamiento de la licuación y la falla del suelo relacionada.

Los terremotos también provocaron extensos deslizamientos en la Cordillera de la Costa y las cuencas hidrográficas circundantes. El análisis de imágenes remotas y las fotografías de campo documentaron cientos de deslizamientos nuevos o reactivados, incluidos deslizamientos superficiales interrumpidos, áreas de fuente de los flujos de detritos, caída y desprendimiento de rocas, grietas de tensión, deslizamientos que afectaron carreteras y deslizamientos cerca de quebradas. Se observaron deslizamientos a lo largo de las laderas sobre La Guaira, cerca de la antigua carretera a La Guaira, alrededor del Desarrollo Urbano Hugo Chávez, dentro de las cuencas

que drenan hacia Catia La Mar, Maiquetía, Caraballeda, Macuto, Tanaguarena y Naiguatá, y a lo largo de corredores viales como la Carretera El Junquito-Colonia Tovar. Varios deslizamientos de tierra afectaron o pusieron en riesgo carreteras, redujeron el ancho utilizable de las mismas, aportaron sedimentos a los cauces o se produjeron cerca de estructuras existentes de retención de sedimentos. Estas observaciones son especialmente importantes porque los deslizamientos provocados por los terremotos coinciden con el impacto acumulado del desastre del deslave e inundaciones repentinas de Vargas de diciembre de 1999. Muchas cuencas hidrográficas costeras presentan pendientes pronunciadas, depósitos aluviales de gran espesor, presas de control de sedimentos y comunidades ubicadas dentro de zonas de peligro de flujo de detritos ya existentes. Por lo tanto, los terremotos de 2026 pueden haber aumentado la susceptibilidad a corto plazo a los flujos de detritos provocados por lluvias, la removilización de deslizamientos de tierra, el transporte de sedimentos y los peligros compuestos durante tormentas en el futuro.

Los daños a los edificios y a la infraestructura civil fueron extensos en varias comunidades costeras y más localizados en Caracas. Los equipos de campo de GEER y sus colaboradores documentaron los daños sufridos en edificaciones residenciales, comerciales, industriales, sanitarias, de transporte y costeras. En La Guaira se observaron daños o derrumbes importantes en Playa Escondida, Caraballeda, Los Corales, Catia La Mar, Playa Grande y otras urbanizaciones costeras. Entre los daños observados hay fallas en fachadas y muros, derrumbes parciales y completos, fallas en plantas bajas o con poca resistencia estructural, deterioro de la mampostería y elementos no estructurales, desplazamiento de losas, agrietamiento de muros y evidencia de efectos de deformación de los cimientos o del terreno en determinados lugares. En algunos lugares, los edificios adyacentes con una exposición aparentemente similar se comportaron de manera diferente, lo que indica la necesidad de una evaluación detallada de las condiciones geológicas locales del terreno, la configuración estructural, el tipo de cimentación, la antigüedad del edificio, la calidad de la construcción y los posibles efectos de la interacción entre suelo y estructura.

También hubo afectación de frentes costeros, corredores viales, puertos, aeropuertos, muros y redes de servicios esenciales. Se observaron grietas, asentamientos y desprendimiento lateral cerca de puertos, carreteras costeras, puertos y accesos a puentes. Se produjeron grietas en el pavimento en el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar o en sus inmediaciones, así como a lo largo de varias calles costeras y urbanas. Se documentaron fallas viales en la calle José María Vargas, la Avenida José María España, el Boulevard Niza y otras zonas de La Guaira y Caraballeda. En Caracas y a lo largo de las rutas viales en la montaña se observaron daños en los muros de contención y deslizamientos localizados. El equipo de GEER también analizó los impactos en servicios esenciales, incluidas las interrupciones informadas en gasolina y gas, electricidad, agua y aguas residuales, telecomunicaciones y transporte. Las observaciones cerca de las instalaciones industriales indicaron daños en algunos edificios y componentes, mientras que algunas infraestructuras de procesos críticos parecían seguir funcionando según observaciones que se hicieron desde la carretera. En las comunidades costeras más afectadas se registraron numerosos casos de interrupción del suministro de agua, saneamiento, electricidad y comunicaciones, lo que agravó las consecuencias humanitarias de los terremotos.

El informe también documenta los hallazgos preliminares relacionados con las presas y las obras de control de sedimentos. La información recopilada de expertos venezolanos en presas, inventarios previos e inspecciones de campo en curso no indicaba daños confirmados provocados por el terremoto en grandes embalses al momento de elaborar este informe. Sin embargo, el equipo de GEER hizo hincapié en la importancia de inspeccionar no solo los componentes estructurales y electromecánicos, sino también los terraplenes, los cimientos, los aliviaderos, las obras anexas y las consecuencias aguas abajo. Las presas de control de sedimentos y las estructuras de retención de escombros en las cuencas costeras de La Guaira son particularmente importantes debido a su papel en la gestión de los peligros de flujo de detritos. Las inspecciones de campo y las observaciones compartidas permitieron identificar problemas como la acumulación de sedimentos, la erosión, el debilitamiento, los daños en el revestimiento de concreto, las condiciones de la captación y la necesidad de un seguimiento y mantenimiento continuos. Dada la elevada exposición de las comunidades y las infraestructuras en las zonas de abanicos costeros, el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas de control de sedimentos deben seguir siendo una prioridad después de los terremotos.

Las repercusiones humanas y económicas fueron sustanciales. Los terremotos provocaron un elevado número de muertes, numerosos heridos, desplazamientos, necesidades de alojamiento, interrupción de servicios esenciales e importantes pérdidas económicas. Los daños fueron especialmente graves en La Guaira, donde las primeras evaluaciones informaron de importantes repercusiones estructurales, interrupciones en los servicios de salud, daños en los servicios públicos y necesidades urgentes de agua, saneamiento y refugio. Las estimaciones rápidas basadas en modelos de organizaciones internacionales y los impactos informados posteriormente indican que los terremotos produjeron importantes daños directos a edificios, infraestructuras y comunidades. El reconocimiento hecho por GEER pone de relieve que los impactos técnicos y las consecuencias humanitarias estaban estrechamente relacionados: las deformaciones del terreno, el derrumbe de edificios, los deslizamientos, los daños a la infraestructura y la interrupción de los servicios se combinaron para crear efectos en cascada que se extendieron más allá de las fallas estructurales a nivel individual.



Geotechnical Extreme Events Reconnaissance
Turning Disaster into Knowledge

AGRADECIMIENTOS

La labor de la Asociación GEER cuenta con el apoyo parcial de la National Science Foundation a través del programa Engineering for Civil Infrastructure Program, bajo la subvención Nro. CMMI1826118. Las opiniones, conclusiones y recomendaciones expresadas en este material pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente la postura de la NSF. Los nombres comerciales, de empresas o de productos que se mencionan aquí son únicamente con fines descriptivos y no implica un respaldo del Gobierno de los Estados Unidos. La Asociación GEER es posible gracias a la visión y el apoyo de los directores del programa Geotechnical Engineering Program de la NSF: La Dra. Giovanna Biscontin, el Dr. Richard Fragaszy y el fallecido Dr. Cliff Astill. Los miembros de GEER también donan su tiempo, talento y recursos para recopilar observaciones de campo perecederas sobre los efectos de eventos extremos.

A través del programa Learning from Earthquakes (LFE, por sus siglas en inglés) del Earthquake Engineering Research Institute (EERI) se organizaron tres grandes convocatorias de coordinación poco después de los terremotos y se identificaron sinergias entre varios grupos interesados en estudiar los impactos de estos eventos. Agradecemos a EERI todo su apoyo, en particular a Robb Moss, Ayse Hortacsu y Maggie Ortiz.

Los autores también desean expresar su agradecimiento al USGS, al GEM y a la NASA por proporcionar acceso a modelos de peligro y riesgo, imágenes satelitales de alta resolución y otros productos y análisis relevantes para sustentar las actividades de GEER. Se agradece profundamente la generosidad de muchos colegas, entre ellos Vitor Silva, Catalina Yepes, Helen Crowley, Kate Allstadt, Corina Cerovski-Darriau, William Barnhart, Zoe Harriet, Catherine Hanagan, Morgan Moschetti, Gavin Hayes y Joshua Barnes. La red E2SCALA, financiada por la NSF, y sus miembros fueron especialmente útiles en las primeras etapas de la coordinación de la respuesta, facilitando la conexión con profesionales y estudiantes locales en Venezuela, así como con colegas interesados en América Latina y el Caribe. Los proyectos ClASH, DesignSafe, RAPID, CONVERGE y StEER, financiados por la NSF, también ofrecieron recursos y apoyo útiles durante nuestras actividades de reconocimiento. Quisiéramos dar un agradecimiento especial a Joseph Wartman, Ellen Rathje, Tim Cockerill, Ben Mason, Dimitrios Zekkos, Brian Yanites y El Knappe. La colaboración con Christian Martinez Contreras, quien desarrolló y mantiene la plataforma crisisvenezuela.org también fue fundamental en el éxito de la misión.

El equipo GEER está particularmente agradecido con los miembros del equipo de campo (y sus colaboradores) que pudieron recopilar evidencia increíblemente valiosa sobre los impactos geotécnicos de estos eventos, incluidos Francisco Pinto (de la Universidad de Chile), Luis Fargier Gabaldón (de la Universidad de Notre Dame), Eduardo Núñez (Universidad Católica de la Santísima Concepción en Chile) y Ramón Mata (Universidad San Sebastián en Chile). Entre colaboradores de instituciones internacionales se encuentran: Eduardo Miranda (Stanford), Camila López (Degenkolb), Carlos Arteta (Universidad del Norte, Colombia), Jorge Archbold (Universidad del Norte, Colombia), así como Ph.D. los estudiantes Nathan Gormay y Diego Montemayor de Stanford. Los autores también agradecen a la Universidad Católica de la Santísima Concepción y a la Universidad San Sebastián por su apoyo institucional y por facilitar la misión

de reconocimiento de campo y las inspecciones posteriores al terremoto dirigidas por el Dr. Núñez y la Dra. Mata Lemus. El apoyo financiero al Dr. Francisco J. Pinto fue proporcionado por el Grupo de Estructuras, Sísmica y Geotecnia del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

Un reconocimiento especial para todos los contactos locales del equipo GEER en Venezuela, quienes han sido colaboradores excepcionales en el proceso de comprender mejor la naturaleza y los impactos de estos eventos. Nuestra colaboración continua es una ventaja no solo para la finalización del informe de GEER, sino también para futuros trabajos en áreas que identificamos de manera conjunta como necesidades prioritarias. Específicamente, agradecemos a nuestros colegas de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (particularmente, los Profesores Heriberto Echezuria y Wagdi Naime, así como Jhendiel Anato), la Universidad Metropolitana (UNIMET; particularmente, al Profesor Gustavo Iribarren), la Universidad Central de Venezuela (UCV; particularmente, al Profesor Eduardo García y José Luis López, así como a Valentina Páez), la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB; Profesor Alfredo Urich). Así mismo, extendemos nuestro sincero agradecimiento al Dr. Duilio Marcial y al Dr. Ronald Torres del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV) por su valiosa asistencia técnica y apoyo durante la etapa en campo. También agradecemos especialmente al MSc. Ahmad Idrees de la Universidad de Carabobo y al Ing. Juan Hung por su esencial coordinación logística, asistencia local y apoyo continuo durante todas las actividades de reconocimiento en el terreno.

Los estudiantes de pregrado de la UNIMET y la UCAB fueron de gran ayuda durante los múltiples despliegues sobre el terreno, ofreciendo apoyo logístico y recopilando ellos mismos datos perecederos después de haber sido entrenados a distancia por miembros de GEER. Entre estos estudiantes tenemos a: Isabella Sánchez (UNIMET), Ericka Jiménez (UCAB), Vicmarly Paredes (UCAB), Daniel León (UNIMET), Ernesto Toro (UCAB) y Andrea Calles. Otros colegas venezolanos que generosamente ofrecieron su tiempo y conocimientos fueron Sergio Marín, Pascual Perazzo, Javier García, José Ignacio Amundaray, Michael Smichtz, Daniel Salcedo, José Gerardo Castillo, José Ochoa, Rosa de Mola y Edgar Ferreira.

Otros grupos internacionales que ofrecen apoyo e información al equipo de GEER son CEER, NZSEE, LACSC y la ISSMGE.

Las empresas de ingeniería Geosyntec, Exponent y Karen Clark and CO ofrecieron horas laborales de varios ingenieros y científicos, aportaron recursos y participaron en el análisis de datos, la preparación de informes y las presentaciones relacionadas.

Convertir los desastres en conocimiento requiere de comunidad, y este informe de GEER refleja cómo nuestra comunidad científica internacional puede unirse para aprender colectivamente, recopilar y compartir datos perecederos y ayudar a construir infraestructuras y comunidades más resilientes en el mundo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 38
   1.1 Alcance del reconocimiento 40
   1.2 Objetivos de reconocimiento 43
   1.3 Organización del informe 43
   1.4 Referencias 44

2. ESTRUCTURA DEL EQUIPO Y ENFOQUE PARA LA RECOPILACIÓN DE DATOS 45
   2.1 Aspectos generales sobre el repositorio de datos de redes sociales y noticias 52
      2.1.1 Caracas 52
      2.1.2 La Guaira 55
   2.2 Resumen de la evidencia fotográfica recopilada por la SVDG en La Guaira 69
   2.3 Investigación del subsuelo: pozos de sondeo y ensayos de laboratorio 89
   2.4 Operaciones de vuelo de drones y datos aéreos 90
   2.5 Inspecciones de las presas 96
   2.6 Referencias 98

3. TECTÓNICA REGIONAL 99
   3.1 Resumen 99
   3.2 Contexto tectónico y geodinámico 99
   3.3 Terremotos históricos 102
   3.4 Registro paleosísmico 105
   3.5 Referencias 107

4. CONTEXTO GEOLÓGICO 111
   4.1 Resumen 111
   4.2 Introducción 112
   4.3 Aspectos generales sobre la geología del estado de La Guaira. 112
   4.4 Aspectos generales sobre la geología del Valle de Caracas. 115
   4.5 Agradecimientos 116
   4.6 Referencias 117

5. SISMICIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE SÍSMICA 118
   5.1 Resumen 118
   5.2 Cronología de eventos y evolución de las soluciones de la fuente 118
   5.3 Evolución de la ruptura y geometría de la falla 125
   5.4 Secuencia de réplicas y distribución espacial 130
   5.5 Directividad de la ruptura e implicaciones del movimiento del suelo 132
   5.6 Prioridades de reconocimiento 132

5.7 Referencias 132

6. CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO DEL SUELO Y EFECTOS LOCALES DEL SITIO 136
6.1 Condiciones sísmicas del sitio en las áreas afectadas 136
6.1.1 Caracas 137
6.1.2 La Guaira 140
6.1.3 Valencia 143
6.1.4 Maracay 147
6.2 Características del movimiento del suelo 148
6.2.1 Redes sísmicas en la región 148
6.2.2 Observaciones indirectas del movimiento del suelo 152
6.3 Registros de movimientos del suelo y mediciones de intensidad correspondientes ...156
6.4 Factores potenciales que afectan las características del movimiento del suelo.....163
6.4.1 Efectos de fallas cercanas en los movimientos del terreno 163
6.4.2 Efectos de cuenca 164
6.4.3 Efectos de la licuación en el movimiento del suelo 167
6.5 Comparación de los movimientos sísmicos observados con los modelos de movimiento sísmico 167
6.6 Influencia de los efectos del sitio en los patrones de movimiento del terreno y daños 172
6.6.1 Efectos locales observados en terremotos anteriores en Venezuela.....172
6.6.2 Posibles efectos locales en el sitio durante los terremotos de 2026 en Venezuela 174
6.7 Referencias 178

7. EVIDENCIA REMOTA DE DEFORMACIÓN DEL TERRENO.....183
7.1 Resumen 183
7.2 Inventario de deformaciones del terreno 183
7.3 Referencias 189

8. RUPTURA DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO A LO LARGO DE LA FALLA.....190
8.1 Desplazamiento regional 190
8.2 Evidencia local de ruptura de la superficie del suelo 193
8.3 Recomendaciones para futuros estudios.....208
8.4 Referencias 209

9. LICUACIÓN 210
9.1 Evidencia histórica de licuación en las regiones afectadas 211
9.2 Contexto geológico y geomorfológico de las zonas afectadas.....212

9.3 Evaluación de los riesgos de licuación 213
9.4 Distribución espacial de la licuación observada 214
9.4.1 Patrón regional y demanda sísmica 215
9.4.2 Inventario elaborado a partir de imágenes posteriores al evento 215
9.4.3 Sitios documentados en campo y cantidades medidas 221
9.5 Tipos de Evidencia 223
9.5.1 Agrietamiento y fisuras del terreno en zonas costeras bajas 223
9.5.2 Desprendimiento lateral de Marinas y rellenos costeros 224
9.5.3 Desprendimiento lateral a lo largo del corredor vial de Caraballeda 227
9.5.4 Accesos a puentes y riberas de los ríos 229
9.5.5 Asentamientos y daños en los cimientos 230
9.5.6 Área epicentral y costa central 232
9.5.7 Evidencia negativa 235
9.6 Observaciones de apoyo provenientes de la geodesia satelital 236
9.7 Interpretación preliminar 236
9.8 Una plataforma para la investigación: Casos históricos, necesidades de datos y agenda 237
9.9 Fuentes de datos y atribuciones 239
9.10 Referencias 240

10. ESTABILIDAD SÍSMICA DE TALUDES Y PELIGROS COMPUESTOS 241
10.1 Antecedentes de la actividad de deslizamientos de tierra 243
10.2 Tendencias 245
10.3 Intersección con los aludes torrenciales de diciembre de 1999 245
10.4 Peligros compuestos 259
10.5 Observaciones en el lugar del deslizamiento de tierra 261
10.5.1 Cifras de impacto en la infraestructura 262
10.5.2 Figuras de peligros compuestos 268
10.5.3 Ejemplos típicos de deslizamientos de tierra (Figuras) 273
10.6 Oportunidades para la recopilación de datos en el futuro 276
10.7 Agradecimientos 277
10.8 Referencias 277

11. IMPACTOS EN EDIFICIOS DE INGENIERÍA 280
11.1 Resumen 280
11.2 Ejemplos seleccionados de evidencia de campo 280
11.3 Interacción estructura-suelo-estructura en un área urbana agrupada alrededor de la avenida Playa Grande, Catia La Mar 310
11.3.1 Ausencia de fallas del terreno 311

11.3.2 El patrón de daño....312
11.3.3 Interpretación....315
11.3.4 Recomendaciones....316
11.4 Panorama general de los códigos de diseño sísmico (1939-2026)....316
11.4.1 Ministerio de Obras Públicas (MOP) 1955....316
11.4.2 Ministerio de Obras Públicas 1967....317
11.4.3 Norma Venezolana de Edificaciones Antisísmicas (COVENIN 1756-82)....318
11.4.4 Edificaciones Sismorresistentes (COVENIN 1756-01)....319
11.4.5 Norma Venezolana de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756-19)....321
11.4.6 Consideraciones geotécnicas y limitaciones del código....322
11.5 Agradecimientos....323
11.6 Referencias....323

12. IMPACTOS EN LAS PRESAS....326
12.1 Presas de control de sedimentos....335
12.1.1 Organización y planificación del programa de inspección....336
12.1.2 Inspecciones de campo....336
12.1.3 Resumen de las observaciones generales de la inspección y próximos pasos.....344

13. REDES DE SERVICIOS ESENCIALES....346
13.1 Petróleo y gas....346
13.2 Energía eléctrica....348
13.3 Agua potable y red sanitaria....350
13.4 Transporte....352
13.5 Agradecimientos....353
13.6 Referencias....353

14. IMPACTOS HUMANOS Y ECONÓMICOS....356
14.1 Actores y acciones de respuesta ante eventos extremos....356
14.2 Estimaciones analíticas preliminares de los impactos....356
14.2.1 PAGER del USGS....356
14.2.2 GEM....358
14.2.3 UNDRR....361
14.2.4 GRADE del Banco Mundial....362
14.3 Impactos reportados en el primer mes....363
14.3.1 Rescate y víctimas....363
14.3.2 Desplazamiento de la población....364

14.3.3 Acceso a servicios y necesidades básicas.....366
14.3.4 Informes sobre poblaciones vulnerables 369
14.4 Referencias 370

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Autores principales de esta sección 45
Tabla 2-2. Lista del equipo remoto de GEER (en orden alfabético) 45
Tabla 2-3. Lista de miembros del equipo de campo de GEER (en orden alfabético)..... 46
Tabla 2-4. Lista de miembros del grupo de WhatsApp de ES2CALA y su afiliación (en orden alfabético) 47
Tabla 2-5. Las presas de retención de sedimentos se inspeccionarán en agosto de 2026..... 97
Tabla 3-1. Autores principales de esta sección 99
Tabla 4-1. Autores principales de esta sección 111
Tabla 5-1. Autores principales de esta sección 118
Tabla 5-2. Comparación entre las soluciones de fuente y los productos de ruptura actuales y anteriores. 122
Tabla 6-1. Autores principales de esta sección 136
Tabla 6-2. Metadatos de la estación sísmica 151
Tabla 6-3. Medidas de intensidad (Parte 1) 160
Tabla 6-4. Medidas de intensidad (Parte 2) 160
Tabla 7-1. Autores principales de esta sección 183
Tabla 7-2. Imágenes aéreas posteriores al terremoto 185
Tabla 8-1. Autores principales de esta sección 190
Tabla 9-1. Autores principales de esta sección 210
Tabla 9-2. Resumen de la evidencia histórica de licuación en las regiones afectadas (modificado de Rodríguez, Audemard y Rodríguez, 2006) 211
Tabla 9-3. Deformación del terreno cartografiada debido a la licuación a lo largo del corredor costero de La Guaira a partir de imágenes ópticas posteriores al evento, según el tipo de evidencia y el grado de confianza del analista. Las reclasificaciones de campo analizadas en la Sección 9.5.7 se aplican parcialmente aquí, de modo que la interpretación remota siga siendo auditable. 215
Tabla 9-4. Sitios documentados sobre el terreno con evidencia de licuación o deformación del suelo inducida por la licuación. Las atribuciones son provisionales y requieren confirmación por parte de los equipos que las hicieron. 221
Tabla 9-5. Mediciones cuantitativas disponibles en los sitios documentados en este capítulo. . 222
Tabla 9-6. Potenciales casos históricos extraídos del material de este capítulo, y los datos necesarios para completarlos. 237
Tabla 10-1. Autores principales de esta sección 241
Tabla 10-2. Resumen de las características de la cuencas y de los sedimentos depositados por los aludes torrenciales de diciembre de 1999. 251
Tabla 10-3. Cambio máximo estimado en la línea de costa por cuenca hidrográfica causado por la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999. 255
Tabla 10-4. Obras de control de sedimentos, mapas de riesgo de flujos de detritos por cuenca hidrográfica e intersección espacial de estructuras afectadas por los terremotos de 2026 con zonas de alto riesgo de flujos de detritos torrenciales en La Guaira, Venezuela. Nota: El porcentaje se calculó como la proporción de estructuras dañadas por el terremoto (según lo informado por crisisvenezuela.org) ubicadas dentro de zonas de alto riesgo de flujos de detritos en cada cuenca hidrográfica. 257

Tabla 11-1. Autores principales de esta sección 280
Tabla 11-2. Coeficiente de diseño sísmico para la zona 3, MOP 1965 (C = cortante basal de diseño / peso del edificio, basado en el diseño de esfuerzos admisibles) 318
Tabla 12-1. Autores principales de esta sección 326
Table 12-2. Lista de presas georreferenciadas. 326
Tabla 12-3. Calendario de inspección de las presas de control de sedimentos 337
Tabla 13-1. Autores principales de esta sección 346
Tabla 14-1. Autores principales de esta sección 356
Tabla 14-2. Estimaciones analíticas de riesgo de la Fundación GEM. 358
Tabla 14-3. Desglose demográfico y de daños a la vivienda de las personas en los refugios temporales según la Matriz de Seguimiento de Desplazamientos (DTM) de la Organización Internacional para las Migraciones (OIM) 366

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Mapa de Venezuela que muestra la ubicación de los epicentros de los terremotos de junio de 2026 en San Felipe (M 7.2) y Catia La Mar (M 7.5). Se muestran los mecanismos focales (del USGS) para ambos eventos. 38
Figura 1-2. Diagrama de los límites de las placas de Venezuela (modificado de Audemard 2000). 39
Figura 1-3. Mapa de fallas cuaternarias dentro del área de interés (modificado de Audemard 2000). 40
Figura 1-4. Descripción general de la zona central de la costa norte de Venezuela y áreas prioritarias para los equipos de campo de GEER de las fases I, II y III, así como para el equipo remoto de GEER que no viajó. 42
Figura 2-1. Daños documentados por crisisvenezuela.org mediante esfuerzos de colaboración ciudadana. 49
Figura 2-2. Red de colaboración que contribuye a la respuesta rápida luego de los terremotos de 2026 en Venezuela 50
Figura 2-3. Torre Bancaracas, Los Palos Grandes, Miranda: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA; e (c) Imágenes aéreas de Google Earth de fecha 3 de enero de 2026 (Coordenadas: 10.497611°, -66.850849°) 52
Figura 2-4. Edificio Rita (a) Mosaico fotográfico (proveniente de redes sociales, compartidas en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA) de edificios cercano a la intersección de la Avenida Los Próceres y la Avenida Marqués del Toro, Caracas, después de los terremotos e (b) Imágenes aéreas de Google Earth de fecha 21 de diciembre de 2025 (Coordenadas: 10.514921°, -66.898304°) 53
Figura 2-5. Torre Petunia en Los Palos Grandes, Miranda: (a, b) Antes de los terremotos, de Google Earth; (c) Después de los terremotos, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA; e (d) Imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 (Coordenadas: 10.498366°, -66.847556°) 54
Figura 2-6. Edificio de apartamentos inclinado en La Guaira, Venezuela. Ubicación (a) antes de los terremotos, (b) después de los terremotos, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA, y (c) una vista aérea de Google Earth del 8 de mayo de 2026, edificio de referencia (con marcador rojo) en las coordenadas: 10.61055°, -67.010966° 55
Figura 2-7. Hotel Eduard´s (a) Antes de los terremotos; (b) Vista aérea del 5 de febrero de 2025 de Google Earth, coordenadas 10.605006°, −66.900661°; (c) Foto después de los terremotos proveniente de redes sociales, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA 56
Figura 2-8. (a,b) Pavimento agrietado en el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar, La Guaira, con coordenadas aproximadas 10.604266°, −66.997822° y (c) vista aérea proveniente de redes sociales, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA. Google Earth, de fecha 8 de mayo de 2026 57
Figura 2-9. Residencias Los Delfines: (a) Después de los terremotos, marcado con un triángulo rojo en el mapa del sitio en 10.610009°, −67.025497°; (b) Después de los terremotos, marcado con un círculo rojo en el mapa del sitio en 10.610194°, −67.024792°; (c) Vista aérea de imágenes de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026. Las imágenes posteriores a los terremotos fueron tomadas de un video compartido en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA 58

Figura 2-10. Edificio inclinado identificado en la Figura 2-9 59
Figura 2-11. Edificios de apartamentos en Catia La Mar, La Guaira, Venezuela, el 27 de febrero de 2026 y el 26 de junio de 2026 (a) antes y (b) después de los terremotos. Imágenes satelitales que muestran la magnitud de la devastación en Venezuela luego de dos terremotos, publicadas por NBC News, sitio web: https://www.nbcnews.com/world/venezuela/satellite-images-show-scope-devastation-venezuela-dual-earthquakes-rcna352017..... 60
Figura 2-12. Edificio de apartamentos en La Guaira, Venezuela, el (a) 22 de junio, antes de los terremotos y el (b) 25 de junio después de los terremotos. Imágenes satelitales muestran el alcance de la devastación en Venezuela después de dos terremotos por NBC News, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=0_ORDDBX78A. Coordenadas de la esquina sureste de la cuadra: 10.6105°, -67.0115° 61
Figura 2-13. Conjunto Residencial Belo Horizonte el (a) 27 de febrero y el (b) 26 de junio después de los terremotos (Imágenes satelitales muestran el alcance de la devastación en Venezuela después de los dos terremotos por NBC News, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=0_ORDDBX78A). Coordenadas 10.60966, −67.026897 ... 62
Figura 2-14. Edificio de apartamentos en Caraballeda, La Guaira el (a) 28 de diciembre y el (b) 26 de junio después de los terremotos (Ref.: Imágenes satelitales muestran la magnitud de la devastación en Venezuela después de los dos terremotos, según NBC News (sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=0_ORDDBX78A). Coordenadas del edificio en forma de L: 10.614721°, −66.839135°)..... 63
Figura 2-15. Edificio desconocido (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024; (b y c) Después de los terremotos informados por Fox News ()https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=venezuela%20earthquake&mid=FC0431836BA833B16A10FC0431836BA833B16A10&ajaxhist=0 El edificio con coordenadas 10.617879°, −66.856783° está identificado con un triángulo rojo en cada imagen 64
Figura 2-16. Residencias Coral Beach en Playa Puerto Viejo, La Guaira: (a) Antes del terremoto, a partir de imágenes de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 y (b) Después del terremoto proveniente de YouTube. (10.617927°, -66.854617°)..... 65
Figura 2-17. Residencia Nautilus, La Guaira: (a) Antes del terremoto, proveniente de imágenes de Google Earth de fecha 18 de mayo de 2026 y (b) Después del terremoto proveniente de YouTube, publicada por CNN Español, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=3hSnUZuDLm4. (Coordenadas del edificio caído: 10.613174°, -67.022818°)..... 66
Figura 2-18. Edificios residenciales en La Guaira: (a) Antes del terremoto, proveniente de imágenes de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026 y (b) Después del terremoto, proveniente de YouTube, publicada por CNN Español (sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=3hSnUZuDLm4) que muestra edificios inclinados en coordenadas 10.607062°, −67.022638°. Lugares cercanos: (c) Antes y (d) Después del terremoto, mostrando edificios derrumbados en coordenadas 10.604969°, −67.027677°) 67
Figura 2-19. Comparación de vuelos (a) Antes y (b) Después del terremoto, proveniente de YouTube, publicado por CNN Español, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=3hSnUZuDLm4. (Coordenadas de la redoma: 10609240°, -67,013953°)..... 68

Figura 2-20. Hotel Fioremar (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 (10.615479°, −66.844534°); (b, c) después de los terremotos. Fuente: SVDG 69
Figura 2-21. Bahía de los Niños (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 (10.614823°, −66.862014°); (b,c) después de los terremotos. Fuente: SVDG 70
Figura 2-22. (a,b) Bahía de los Niños. Fuente: SVDG 71
Figura 2-23. Torres El Caribe Misión Vivienda (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación aproximada 10.615379°, −66.840113°, y (b) después de los terremotos. Fuente: SVDG 72
Figura 2-24. Centro Comercial Costa del Sol (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.618215°, −66.845968°, y (b) después de los terremotos. Se añadió un triángulo rojo como marcador en el centro comercial a modo de referencia. Fuente: SVDG 73
Figura 2-25. Residencias Costa Bella (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.617858°, −66.850622° y (b) después de los terremotos. Fuente: SVDG 74
Figura 2-26. A lo largo de la Avenida José María España, mirando hacia el Bodegón Playa el Yate (a,b) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.619220°, −66.847192° y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG . 75
Figura 2-27. Edificio Residencias Vistamar, a lo largo de la Avenida José María España (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.618783°, −66.848646° y (b) después de los terremotos. Fuente: SVDG 76
Figura 2-28. Residencia Mariola (a) Antes de los terremotos según Google Earth desde la Avenida Costanera, de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.618516°, −66.847591° (b) Antes de los terremotos desde la Avenida José María España y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG 77
Figura 2-29. Desprendimiento lateral inducido por licuación a lo largo de la Av. José María España, esquina este del centro comercial Doña Bárbara (a) Antes de los terremotos, según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.619014°, −66.851115° y (b) Antes de los terremotos, vista hacia el oeste, y (c) después de los terremotos, vista hacia el oeste. Fuente: SVDG 78
Figura 2-30. (a) Antes y (b,c) después de los terremotos en las afueras del centro comercial Doña Bárbara. Coordenadas: 10.618944°, -66.850752°. Fuente: SVDG 79
Figura 2-31. Residencias Mar de Leva (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 30 de abril de 2024, ubicación 10.618594°, −66.852742° y (b) Antes de los terremotos, vista hacia el sur, y (c) después de los terremotos, vista hacia el sur. Fuente: SVDG 80
Figura 2-32. Residencias Auromar (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.614899°, −66.836234°, (b) proveniente de Google Earth, desde la calle La Plata, y (c) después de los terremotos desde la misma calle. Fuente: SVDG 81
Figura 2-33. Residencias Airchuna (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.616960°, -66.857965° ,(b) proveniente de Google Earth, antes del terremoto, y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG 82

Figura 2-34. Residencias Costa Azul (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.617851°, −66.856446° (b) provenientes de Google Earth, antes de los terremotos, y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG 83
Figura 2-35. Muro de contención anclado cerca del edificio El Jurel (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026, ubicación 10.610197°, −67.008568° (b,c) imágenes después del terremoto. Fuente: SVDG 84
Figura 2-36. (a,b,c) Marina de Caraballeda, coordenadas 10.619951°, −66.843447°. Fuente: SVDG 85
Figura 2-37. (a,b) Falla del terreno cerca de edificios de cuatro pisos ubicados en el área de Mare Abajo, coordenadas 10.608454°, -66.983710° y 10.608705°, −66.984050°, (c) Vista aérea tomada de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026 con una ubicación aproximada de las imágenes en los elementos a y b. Fuente: SVDG 86
Figura 2-38. (a) Falla de la carretera a lo largo de la calle José María Vargas, coordenadas aproximadas 10.610380°, −66.996350° (b) Vista aérea tomada de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026. Fuente: SVDG 87
Figura 2-39. (a) Falla de la carretera a lo largo de la calle José María Vargas, aproximadamente 500 m al oeste de la entrada del puerto, coordenadas 10.604193°, −66.966580° (b) Vista aérea tomada de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026. Fuente: SVDG 88
Figura 2-40. Lugares de exploración en el Urbanismo Hugo Chávez 89
Figura 2-41. Ejemplo de muestreador de tubo partido para SPT y material encontrado 90
Figura 2-42. Desprendimiento de taludes en el borde del terraplén del Urbanismo Hugo Chávez 91
Figura 2-43. Alcance de las imágenes de drones en el área de Playa Grande 92
Figura 2-44. Alcance de las imágenes de drones en el área de Caraballeda 92
Figura 2-45. Alcance de las imágenes de drones en el área de Macuto 93
Figura 2-46. Alcance de las imágenes de drones para el área de Catia La Mar 93
Figura 2-47. Alcance de las imágenes de drones en el área de Tanaguarena 94
Figura 2-48. Alcance de las imágenes de drones para el edificio Torre Marina 95
Figura 2-49. Calle detrás del edificio El Jurel 95
Figura 2-50. Desprendimientos del terreno debajo del edificio Torre Marina 96
Figura 2-51. Cuencas hidrográficas (líneas) y presas de retención de sedimentos (marcadores rojos) en el Litoral Central. Fuente: López 2010 97
Figura 3-1. Contexto tectónico de los sismos del 24 de junio en el norte de Sudamérica. Los principales sistemas de fallas asociados al límite sur de la placa del Caribe están resaltados en rojo. La ubicación de los dos epicentros y los mecanismos focales según USGS (2026a) y USGS (2026b). Características estructurales tomadas de Audemard y Audemard (2002). Vectores geodésicos y tasas de desplazamiento según Mora-Páez y Audemard (2021), Pérez et al. (2018) y Pérez et al. (2001). 100
Figura 3-2. Mapa geológico simplificado (A) y sección transversal tectónica (B) del límite de la placa Caribe-Sudamérica a través de la región centro-norte de Venezuela, adaptados de Pindell et al. (2025). El marco tectonoestratigráfico del norte de Venezuela comprende el Terreno de Ávila (A), Terreno de Agua Blanca (AB), Terreno de Aroa (Ar), Terreno de Carayaca (C), Terreno de San Sebastián (SS), Terreno de Tacagua (T), Terreno de Los Cristales (M) y Terreno de Villa de Cura (VC). Entre los principales elementos estructurales se destacan el Cinturón de Caracas

(CB), el Cinturón Caucagua-El Tinaco (CT), el Cinturón Loma de Hierro-Paracotos (LHP) y el Cinturón del Piamonte (PB), así como los principales sistemas de fallas como la Falla de Cantagallo (CF) y la Falla de Guárico (GF). Otras características geológicas significativas representadas en la región son las Napas de Lara (L), Puerto Cabello (PC), Golfo Triste (GT) y la Peridotita de Tinaquillo (TP). Los depósitos cuaternarios están indicados con la letra Q. Este conjunto de terrenos, cinturones tectónicos, fallas y unidades litológicas registra la compleja evolución tectónica de la Cordillera de la Costa venezolana y las regiones adyacentes. 101
Figura 3-3. Localización de los epicentros y rupturas de los principales terremotos históricos que afectaron a La Guaira-Maiquetía, Caraballeda, Macuto y Caracas. Modificado y adaptado de Pousse-Beltran et al. (2017), Pérez et al. (2018), Audemard et al. (2000), Audemard (2002) y Hernández y Schmitz (2023). Los terremotos menores o no destructivos asociados con los sistemas de fallas de La Victoria y Tacagua-El Ávila se omiten por razones de simplicidad. La ubicación de los epicentros se refleja según USGS (2026a) y USGS (2026b)..... 103
Figura 3-4. Distribución espaciotemporal de la sismicidad histórica y ubicación de los sitios de trincheras a lo largo de la falla de Boconó según Audemard (2014) y Pousse-Beltran (2018). “Boc-e” indica el segmento de la falla de Boconó que se activó durante el terremoto del 24 de junio de 2026. El punto amarillo indica el epicentro del terremoto de magnitud 7.2 ocurrido el 24 de junio de 2026..... 106
Figura 4-1. Mapa geológico de la región de Caracas. Adaptado de la Dirección General Sectorial de Minas y Geología (1986). Se destacan las zonas más afectadas por los terremotos del 24 de junio de 2026. La ubicación de la falla de San Sebastián propuesta se basa en los resultados que se analizan en este informe. 113
Figura 4-2. Mapa geológico del valle de Caracas. Modificado y adaptado de Singer et al. (2021) y Oropeza y Singer (2015). Las zonas que sufrieron daños importantes luego de los terremotos del 24 de junio de 2026 están marcadas con círculos negros. 116
Figura 5-1. Instantánea del catálogo del USGS reproducida por Hubbard y Bradley (2026), que muestra las ubicaciones iniciales informadas para los terremotos de magnitud 7.2 y 7.5 y los eventos de magnitud 4 o superior hasta el 1 de julio de 2026; el panel inferior refleja la magnitud en función del tiempo. Las dos ubicaciones de grandes sismos que aparecen en esta instantánea han sido reemplazadas; el catálogo actual del USGS sitúa el hipocentro del sismo de magnitud 7.5 frente a la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar..... 120
Figura 5-2. Instantánea reproducida de la proyección de réplicas del USGS (último acceso: 5 de agosto de 2026). Los colores indican las réplicas que han ocurrido en la última semana (amarillo), el último mes (blanco) o hace más de un mes (gris). La ubicación actualizada del epicentro de magnitud 7.5 se muestra con una estrella..... 121
Figura 5-3. Ubicaciones actualizadas del catálogo del USGS de los terremotos de magnitud 7.2 y 7.5, que muestran el epicentro occidental del terremoto de magnitud 7.2 y el epicentro oriental del terremoto de magnitud 7.5 frente a la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar. Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026b, 2026c). 121
Figura 5-4. Ubicación de los terremotos del norte de Venezuela del 24 de junio de 2026 y una réplica temprana de magnitud 4.6, según lo informado por GFZ/GEOFON. Instantánea reproducida del GFZ Helmholtz Centre for Geosciences (2026c); orígenes actuales del USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026b, 2026c)..... 122
Figura 5-5. Soluciones del tensor de momento de fase W del USGS para los sub-eventos M7.2 y M7.5. Los valores que se muestran junto a los planos nodales son el rumbo, el buzamiento y el

deslizamiento; la magnitud del momento sísmico informada y la profundidad del centroide se enumeran debajo de cada mecanismo focal. Recopilado a partir de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026b, 2026c). 124
Figura 5-6. Soluciones estándar del tensor de momento de GFZ/GEOFON para los sub-eventos M7.3 y M7.4, incluyendo el origen del evento, la ubicación de la fuente, la profundidad de la fuente y el rumbo, buzamiento y deslizamiento de ambos planos nodales. La solución estándar de GEOFON utiliza ondas de cuerpo y de superficie. Recopilado a partir de los registros de eventos de GEOFON (GFZ Helmholtz Centre for Geosciences, 2026a, 2026b; CC BY 4.0). 124
Figura 5-7. Información del catálogo de GCMT y solución del tensor de momento para el evento M7.5. 125
Figura 5-8. Imagen preliminar de retroproyección de los terremotos de Venezuela del 24 de junio de 2026. El panel izquierdo muestra la geometría del arreglo de estaciones, y el panel derecho muestra los máximos de retroproyección codificados en el tiempo, cuyas ubicaciones representadas gráficamente tienden generalmente hacia el este. Fuente: Dun Wang y colaboradores, China University of Geosciences, Wuhan. 126
Figura 5-9. Campo de deformación derivado de InSAR asociado con la secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 en Venezuela. Figura generada a partir de imágenes del satélite Copernicus Sentinel-1. Procesamiento de InSAR y modelado preliminar de la fuente: IREA-CNR e INGV; reproducido a partir de INGVterremoti (2026). 127
Figura 5-10. Interferograma del satélite Sentinel-1 que muestra la deformación del terreno asociada al doblete sísmico ocurrido en Venezuela el 24 de junio de 2026. Fuente: datos modificados del satélite Copernicus Sentinel-1 (2026), procesados por la Agencia Espacial Europea. 127
Figura 5-11. Modelo de falla finita del USGS para los terremotos de Venezuela del 24 de junio de 2026; actualizado el 27 de julio de 2026. Arriba: secciones transversales del desplazamiento lateral modelado en dos segmentos de falla, con rumbo y buzamiento del segmento, amplitud del desplazamiento, flechas que indican la dirección del desplazamiento, estrellas que señalan la ubicación del evento y contornos del frente de ruptura a intervalos de 10 segundos. Abajo: proyección de superficie que muestra la ubicación occidental del Evento 1 y oriental del Evento 2, el desplazamiento modelado, la geometría de la falla y los vectores de GNSS observados y sintéticos. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026a). 128
Figura 5-12. Campo de desplazamiento preliminar este-oeste a partir de la correlación óptica de imágenes de Copernicus Sentinel-2 anteriores y posteriores al evento a lo largo de la costa de La Guaira-Caraballeda. El autor de la fuente interpretó una señal dextral de aproximadamente 2 m en La Guaira y consideró que la continuación hacia Caraballeda era tentativa. Contiene datos modificados de Copernicus Sentinel-2 (2026); análisis y figura de Valkaniotis (2026a). 129
Figura 5-13. Secciones de profundidad paralelas a la falla, procedentes de la compilación preliminar del 17 de julio de 2026 sobre los terremotos de Venezuela. La sismicidad histórica se muestra en gris, los eventos posteriores al sismo principal tienen color según la profundidad, las ubicaciones de los dos sismos principales están marcadas con estrellas rojas y el desplazamiento modelado se muestra como parches de falla coloreados. Las estrellas y las zonas de desplazamiento representan las ubicaciones iniciales del USGS (es decir, no actualizadas para el evento de magnitud 7.5) y la solución de falla finita disponible el 17 de julio. Las secciones incluyen los terremotos ocurridos dentro de 40 km, 20 km y 10 km del perfil, respectivamente. Visualización y recopilación de sismicidad: Baoning Wu, comunicación personal; parches de

falla finitos y coordenadas del sismo principal en ese momento: Productos del USGS consultados el 17 de julio de 2026. 131
Figura 5-14. Mapa procedente de la compilación preliminar del 17 de julio de 2026 de la secuencia sísmica de Venezuela. La sismicidad histórica se muestra en gris, los eventos posteriores al sismo principal tienen color según la profundidad y en escala según la magnitud, y las zonas de falla finitas están coloreadas según el desplazamiento modelado. Las estrellas y las zonas de desplazamiento representan las ubicaciones iniciales del USGS y la solución de falla finita disponible el 17 de julio. Visualización y recopilación de sismicidad: Baoning Wu, comunicación personal; parches de falla finitos y coordenadas del sismo principal en ese momento: Productos del USGS consultados el 17 de julio de 2026. Cabe destacar que el 27 de julio de 2026 el USGS actualizó su modelo de ruptura de falla y la ubicación del evento de magnitud 7.5. 131
Figura 6-1. Localización de las zonas afectadas luego de los terremotos de junio de 2026, con los estudios de microzonificación disponibles. También se muestra el modelo de ruptura de falla finita (FFM) del USGS. 137
Figura 6-2. Mapa de los períodos del sitio generado para Caracas con base en aproximadamente 2000 mediciones de HVSR. Modificado de Schmitz et al. (2020). 138
Figura 6-3. Mapa de profundidad de sedimentos generado para Caracas (FUNVISIS, s.f.) 138
Figura 6-4. $\boldsymbol{Vs30}$ Mapa generado para Caracas (FUNVISIS, s.f.) 139
Figura 6-5. Mapa de microzonificación sísmica de Caracas (FUNVISIS, s.f.) 140
Figura 6-6. Mapa de $\boldsymbol{Vs30}$ de los abanicos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena (adaptado de Romero et al., 2006). 141
Figura 6-7. Mapa de los periodos del sitio para los abanicos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena (adaptado de Romero et al., 2006). 141
Figura 6-8. Modelo de profundidad del basamento entre La Guaira y Tanaguarena (Romero et al., 2006). La escala de colores indica los intervalos 350-450 m, 250-350 m, 150-250 m, 50-150 m y 0-50 m (de arriba a abajo en la leyenda). 142
Figura 6-9. Mapa preliminar de microzonificación sísmica de Caraballeda (García et al., 2023) 143
Figura 6-10. $\boldsymbol{Vs30}$Mapas generados para la ciudad de Valencia (Mijares et al., 2021). (a) Mapa $\boldsymbol{Vs30}$ continuo y (b) mapa con clasificación de sitios sísmicos, según la norma venezolana COVENIN 1765. 143
Figura 6-11. Mapa integrado de Valencia (Gil, 2021).$\boldsymbol{Vs30}$ 144
Figura 6-12. Mapa de profundidad de sedimentos para Valencia (Gil, 2021). 145
Figura 6-13. Mapa de profundidad de sedimentos para Valencia (Gil, 2021). 146
Figura 6-14. Mapa del periodo del sitio para Valencia (Schmidtz et al., 2015). 146
Figura 6-15. Mapa del período del sitio para Maracay (Rojas, 2008). 147
La Figura 6-16. a) Mapa $\boldsymbol{Vs30}$ integrado para Maracay, y b) Mapa integrado de profundidad de sedimentos para Maracay (López, 2021). 148
Figura 6-17. Distribución espacial de las estaciones sísmicas de FUNVISIS. FFM = Modelo de Fallas Finitas del USGS. Nota: Las estaciones de FUNVISIS con registros indican aquellas que cuentan con registros confirmados a la fecha de publicación de este informe. 149
Figura 6-18. Distribución espacial de las estaciones de FUNVISIS para la medición de movimientos sísmicos fuertes (adaptado de FUNVISIS, 2023). FFM = Modelo de Fallas Finitas. 150

Figura 6-19. Distribución espacial de las estaciones sísmicas operativas durante los terremotos de San Felipe y Catia La Mar del 24 de junio de 2026 en un radio de 800 km. FFM = Modelo de Fallas Finitas del USGS. 151
Figura 6-20. Mapas de intensidad de Mercalli modificada (MMI) de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos. 153
Figura 6-21. Mapas de aceleración máxima del suelo (PGA) de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos. 154
Figura 6-22. Mapas de velocidad máxima del suelo (PGV) de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos. 154
Figura 6-23. Mapas de aceleración pseudoespectral (PSA) en T = 1.0 s de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos. 155
Figura 6-24. Mapas de aceleración pseudoespectral (PSA) a T = 3.0 s de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos. 155
Figura 6-25. Series temporales de aceleración de las estaciones ACPR, SDV y URI. 157
Figura 6-26. Series temporales de aceleración de las estaciones CRJC, GRGR y OCA. 158
Figura 6-27. Series temporales de aceleración de las estaciones SMAR, ARGC y FDFM. 158
Figura 6-28. Series temporales de aceleración de las estaciones RUS y SJC. 159
Figura 6-29. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5% de las estaciones ACPR, SDV y URI. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación. 161
Figura 6-30. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5% de las estaciones CRJC, GRGR y OCA. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación. 162
Figura 6-31. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5 % de las estaciones SMAR, ARGC y FDFM. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación. 162
Figura 6-32. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5 % de las estaciones RUS y SJC. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación. 163
Figura 6-33. (Izquierda) Parámetros físicos y (derecha) secciones transversales norte-sur de modelos 2D para el Valle de Caracas, del modelo A (arriba a la derecha) y del modelo B (abajo a la derecha) respectivamente. Modificado a partir de la Tabla 1, la Figura 3 y la Figura 9 en Papageorgiou y Kim (1991a). 165
Figura 6-34. Malla de elementos de contorno para una onda SH plana, a lo largo de un perfil norte-sur de Palos Grandes, Caracas. Modificado a partir de la Figura 1 en Semblat et al. (2002). 166
Figura 6-35. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo BSSA14 GMM para condiciones de roca ($\boldsymbol{Vs30}$ = 760 m/s) y suelo ($\boldsymbol{Vs30}$= 300 m/s). 169
Figura 6-36. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo GMM CB14 para condiciones de roca ($\boldsymbol{Vs30}$= 760 m/s) y suelo ($\boldsymbol{Vs30}$= 300 m/s). 170

Figura 6-37. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo GMM ASK14 para condiciones de roca ($\boldsymbol{Vs30}$= 760 m/s) y suelo ($\boldsymbol{Vs30}$= 300 m/s). 171
Figura 6-38. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo GMM CY14 para condiciones de roca ($\boldsymbol{Vs30}$= 760 m/s) y suelo ($\boldsymbol{Vs30}$= 300 m/s).... 172
Figura 6-39. Patrón de daños observado en el terremoto de Caracas de 1967 (Seed et al., 1972). 173
Figura 6-40. Intensidad del daño estructural en función de la profundidad del sedimento o del período fundamental del sitio para el terremoto de Caracas de 1967 (Seed et al., 1972)..... 174
Figura 6-41. Mapa del espesor de los sedimentos (FUNVISIS, s.f.) y ubicación de los edificios dañados en Caracas. 177
Figura 6-42. Mapa del período fundamental (Schmitz et al., 2020) y ubicación de los edificios dañados en Caracas. Se han detectado algunas dificultades al georreferenciar el mapa original del período fundamental, las cuales se están evaluando actualmente..... 177
Figura 6-43. Microzonas y ubicación de edificios dañados en Caracas. Microzonas basadas en VS30, espesor de sedimento y PSA(g) para T = 0,01 y 1s en edificios estándar A0/A1 (FUNVISIS, s.f.). 178
Figura 7-1. Imágenes aéreas posteriores al terremoto. Las zonas punteadas representan la nubosidad. 186
Figura 7-2. Partición geomorfológica de la deformación del terreno cartografiada a lo largo del corredor de La Guaira. Falla de Bruscas digitalizada a partir de Weisbord (1957)..... 189
Figura 8-1. ESA – Desplazamiento de la línea de visión (LOS) de Copernicus. Fuente: https://mapping.emergency.copernicus.eu/activations/EMSR884/download 191
Figura 8-2. Mapa de desplazamiento de superficie de la NASA (NISAR) en línea de visión (LOS): trayectorias ascendentes entre el 13 de junio de 2026 y el 25 de junio de 2026 (A162) y entre el 19 de junio de 2026 y el 30 de junio de 2026 (A61). Desplazamiento de la LOS en cm. Fuente: https://gis.earthdata.nasa.gov/portal/home/item.html?id=9244f7b07fa64d45ae7cb66c34d1696a 191
Figura 8-3. Curvas de nivel de PGA del USGS y modelo de falla finita. Fuente: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/finite-fault 192
Figura 8-4. Desplazamiento en puntos de interés modelado por SIGGMA. Fuente: Preliminary GNSS+DInSAR Evidence of Coseismic Deformation in Venezuela Associated with the June 24, 2026 Earthquakes - SIGGMA..... 193
Figura 8-5. Campos de desplazamiento superficial de Catia La Mar, descompuestos en componentes norte-sur (azul y rojo, respectivamente) y este-oeste (azul y rojo, respectivamente), comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889 194
Figura 8 -6. Campos de desplazamiento de la superficie del aeropuerto de Maiquetía, descompuestos en componentes norte-sur y este-oeste, comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889 195
Figura 8-7. Campos de desplazamiento superficial de Caraballeda, descompuestos en componentes norte-sur y este-oeste, comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889 196

Figura 8-8. Campos de desplazamiento superficial de Naiguatá, descompuestos en componentes norte-sur y este-oeste, comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889 197
Figura 8-9. Campos de desplazamiento superficial este-oeste del USGS de Catia La Mar (arriba) y Caraballeda (abajo), con características de ruptura del terreno superpuestas (en rojo). 198
Figura 8 -10. Maiquetía: 67.0137992°O 10.6041824°N. Se observan fracturas en la calzada al oeste de la pista del aeropuerto. Estas fracturas discurren paralelas a la falla de Bruscas y muy cerca de ella (Weisbord, 1957). Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel. 199
Figura 8 -11. Aeropuerto de Maiquetía: 67.0070831°O 10.6040419°N. Se observan fracturas en la pista norte del aeropuerto. Fotografías obtenidas de publicaciones en redes sociales de Tele Sur TV e imágenes aéreas de Vantor. Esta fractura es pseudoparalela y próxima a la falla de Bruscas (Weisbord, 1957). 200
Figura 8 -12. Aeropuerto de Maiquetía: 67.0039414°O 10.6046294°N. Se observan fracturas al norte de la pista del aeropuerto. Estas fracturas discurren pseudoparalelas a la falla de Bruscas y muy cerca de ella (Weisbord, 1957). Imágenes aéreas de Vantor. 201
Figura 8 -13. Aeropuerto de Maiquetía: 66.9943662°O 10.6026870°N. Las fracturas visibles en la pista, con filtraciones aparentes, sugieren la posible presencia de un nivel freático poco profundo en este lugar. Estas discurren pseudoparalelas a la falla de Bruscas. Imágenes aéreas de Vantor. 202
Figura 8 -14. Maiquetía: 66.9911560°O 10.6063107°N. Se observan fracturas al norte de la pista del aeropuerto. Estas fracturas discurren paralelas a la falla de Bruscas o muy cerca de ella (Weisbord, 1957). Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel. 203
Figura 8-15. Maiquetía: 66.9808956°O 10.6078731°N. Se observan fracturas al noreste de la pista del aeropuerto. Estas fracturas se encuentran muy cerca de la falla de Bruscas (Weisbord, 1957). La zona más oriental (imagen inferior derecha) podría estar asociada con expansión lateral. Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel. 204
Figura 8-16. Maiquetía: 66.9682377°W 10.6054840°N. Se observa fractura en Avenida Bicentenario. Esta fractura se encuentra muy cerca de la falla de Bruscas. Imágenes aéreas de Vantor. 205
Figura 8-17. Caraballeda: 66.8573623°O 10.6185046°N Patrón lineal de fracturas a lo largo de una longitud aproximada de 350 m. La mayor parte de la deformación se concentra en una franja de 10 metros de ancho. También se observan filtraciones y emanaciones de arena. Aunque estas características pueden estar asociadas con expansión lateral, la alineación de las fracturas se encuentra muy cerca de la traza de desplazamiento lateral del USGS representada por el polígono rojo discontinuo. La imagen aérea superior es de Vantor y las dos imágenes aéreas inferiores son cortesía de Drone Pixel. 206
Figura 8-18. Caraballeda: 66.8454351°O 10.6194776°N. Un conjunto de 8 a 10 grietas paralelas posiblemente asociadas con la ruptura cosísmica del terreno según su proximidad a la traza de falla de desplazamiento mapeada por el USGS y su patrón de deformación distintivo. Sin embargo, al finalizar este informe no se pudieron descartar las fracturas del terreno relacionadas con la licuación. Imágenes aéreas de Vantor y Drone SIGIS. 207
Figura 8-19. Caraballeda: 66.8411222°O 10.6195982°N. Patrón lineal de deformación del terreno con grietas muy próximas entre sí, interpretado como una posible ruptura cosísmica del terreno en función de su proximidad a la traza de la falla de desplazamiento del USGS y sus

características de deformación, que difieren de las de las grietas del terreno cercanas relacionadas con la licuación. Alternativamente, estas grietas podrían estar asociadas con la expansión lateral. Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel. 208
Figura 9-1. Mapa geoespacial del riesgo de licuación para el centro-norte de Venezuela; el azul indica una mayor probabilidad de licuación y el marrón una menor. Modelo de Zhu et al. (2017) 214
Figura 9-2. Manifestación superficial de la licuación. Los polígonos azules representan volcanes de arena, grietas en el suelo o subsidencia (sin expansión lateral), mientras que los polígonos morados representan características de desprendimiento lateral cartografiadas por el equipo remoto de GEER, que combina imágenes satelitales y de drones anteriores y posteriores al terremoto. Los puntos verdes son observaciones de campo (véase la Tabla 9-4). 214
Figura 9-3. Distribución regional de las evidencias de licuación informadas en relación con los epicentros del 24 de junio de 2026. En este capítulo se analizan tres clústeres: el corredor costero de La Guaira (detalles en la Tabla 9-2), el valle del río Yaracuy cerca del epicentro del terremoto de San Felipe y la costa central entre Morón/Puerto Cabello y Boca de Aroa. 215
Figura 9-4. Evidencia de expansión lateral, grietas de tensión, subsidencia y volcanes de arena cerca de Playa Candilejas (66.9993614°O 10.6112343°N). Imágenes aéreas de Vantor. 217
Figura 9-5. En el campo de fútbol de El Ceibo se observaron volcanes de arena y posibles filtraciones, y en la costa adyacente se observó una expansión lateral. (66.8913490°O 10.6098202°N). Imágenes aéreas de Vantor. 218
Figura 9-6. Evidencia de expansión lateral, grietas de tensión y filtraciones en Playa Ali Baba (66.8648683°O 10.6124094°N). Imágenes aéreas de Vantor e imágenes de dron (abajo) de SIGIS Venezuela. 219
Figura 9-7. Alta concentración de evidencia de licuación a lo largo del frente costero de Caraballeda. (66.8487832°O 10.6194321°N). Imágenes aéreas de Vantor e imágenes de dron (abajo) de SIGIS Venezuela. 220
Figura 9-8. Playa El Yate, Caraballeda (10.619667°, -66.848800°): Relleno costero detrás de un montículo de escombros en el frente costero de Caraballeda, que muestra grietas generalizadas paralelas a la costa; (a) contexto del sitio; (b, c) vistas de la superficie del relleno agrietado. Fotografías cortesía de Sociedad Venezolana de Geotecnia. 224
Figura 9-9. Playa Grande Yachting Club, Catia La Mar (10.612361°, –67.017788°): (a) ruptura y desplazamiento hacia el mar del acceso pavimentado a lo largo del borde de la dársena; (b) canchas de tenis agrietadas y levantadas, con cercas desalineadas; imágenes satelitales de Vantor c) antes y d) después de los terremotos. Fotografías cortesía del equipo de campo de GEER... 225
Figura 9-10. Marina Deportiva, Catia La Mar (10.614745°, –67.016373°): (a) desplazamiento del borde del muelle y conexiones del pontón; (b) agrietamiento de la superficie pavimentada del muelle que se extiende subparalelo a la dársena; (c) ubicación en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 8 de mayo de 2026). Fotografías cortesía del equipo de campo de GEER. 226
Figura 9-11. Marina de Caraballeda (10.616464°, –66.840234°): (a, b) agrietamiento severo, rotación de bloques y asentamiento de la superficie de la carretera y del relleno adyacente a la dársena, con anchos de grieta de varios cientos de milímetros; (c) ubicación en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 13 de mayo de 2024). Fotografías cortesía de R. Mata, E. Núñez et al., 14 de julio de 2026. 227

Figura 9-12. Desprendimiento lateral a lo largo de la Av. José María España en la esquina este del centro comercial Doña Bárbara, Caraballeda (10.619014°, –66.851115°): (a) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 13 de mayo de 2024); (b) la avenida antes de los terremotos, en dirección al oeste; (c) la misma vista después de los terremotos, mostrando la rotura del pavimento y los brocales desplazados. Fuente: SVDG 228
Figura 9-13. Grietas en el suelo a unos 225 m tierra adentro de la costa de Caraballeda (10.619065°, –66.850753°): (a) ubicación en imágenes satelitales posteriores al evento (Vantor); (b) grieta en el suelo de este a oeste en dirección al sur hacia el Centro Comercial IP5 demolido; (c) daños extensos en el suelo e inclinación de las cercas adyacentes; (d) ancho de grieta medido de 160 mm; e) levantamiento del área circundante con dron (SiGIS Venezuela). Imágenes tomadas el 19 de julio de 2026. 229
Figura 9-14. Puente Macuto–Caraballeda sobre el Río Camurí Chico (10.611552°, –66.870685°): (a) desplazamientos laterales observados en los estribos, con aparente desplazamiento de la estructura al norte hacia el mar; (b) desplazamiento medido de 160 mm en el borde sur del estribo oriental con respecto a la acera; (c) levantamiento del área circundante con dron (SiGIS Venezuela). Fotografías tomadas el 19 de julio de 2026. 230
Figura 9-15. Los Corales, Caraballeda (10.616146°, –66.856982°): (a) asentamiento del terreno circundante en relación con un edificio de una sola planta; (b) asentamiento diferencial medido de 205 mm, observado solo en la esquina suroeste. Fotografías de E. Toro, 14 de julio de 2026. 231
Figura 9-16. Terminal Catia La Mar (10.600856°, –67.040550°): (a–d) daños documentados el 10 de julio de 2026, incluyendo separación en las losas del estacionamiento, que se desplazaron aproximadamente 270 mm; (e) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 21 de diciembre de 2025). Fotografías cortesía de E. Núñez, R. Mata et al. 232
Figura 9-17. Pueblo Ferriar, Yaracuy (10.465698°, –68.561734°): (a) fisura paralela al río que se extiende aproximadamente 380 m, ubicada como máximo a unos 3 m del canal y aproximadamente a 4 km del epicentro de M7.5; (b) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 21 de octubre de 2023). Fotografía cortesía de R. Mata, E. Núñez et al., 12 de julio de 2026. 233
Figura 9-18. Fisuras en el suelo de tierras aluviales cultivadas, municipio Veroes, Yaracuy, en la zona epicentral del terremoto de magnitud 7.2: (a) fisura abierta profunda con paredes casi verticales; (b, c) sistema de fisuras que se extiende continuamente a través de los campos, con residentes locales para referencia de escala. Fotogramas extraídos de videos públicos de redes sociales (usuarios de TikTok @edgarjaviercast42 y @notiyaradigital); aún no se han determinado las ubicaciones exactas. 234
Figura 9-19. Costa central al este de Puerto Cabello (aproximadamente 10.493206°, –67.743070°): (a, b) agrietamiento de la playa y de la faja costera posterior paralela a la costa, detrás de un muro de contención; (c) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 7 de diciembre de 2024). Imágenes procedentes de redes sociales, geolocalizadas por el equipo de reconocimiento. 235
Figura 9-20. Investigación geotécnica de campo en el Urbanismo Hugo Chávez, Catia La Mar (aproximadamente 10.607685°, –67.023763°): (a) distribución de los puntos de investigación de SPT en todo el desarrollo; (b–d) operaciones de perforación y de la prueba de penetración estándar en el sitio. Se incorporarán los registros y los recuentos de golpes. Fotografías cortesía de L. Fargier et al. 238

Figura 10-1. Áreas revisadas (A y B, líneas continuas) y áreas de interés por actividad de deslizamientos de tierra (líneas discontinuas). Coloración de fondo a partir de las probabilidades del modelo de deslizamientos de tierra del USGS (Nowicki Jessee et al., 2018) con una resolución de ~250 m. El color azul indica menor susceptibilidad a los deslizamientos y el color rojo indica mayor susceptibilidad. 241
Figura 10-2. Evaluación de la extensión y gravedad de deslizamientos de tierra mediante imágenes del USGS (al 01/07/26, 4:30 PM MDT), pendiente por verificar. El color se basa en la evaluación remota del USGS. El impacto del deslizamiento de tierra se clasifica como "Desconocido" (amarillo), "Menor o nulo" (verde), "Localizado" (naranja) o “Importante o extendido" (púrpura). Las zonas donde la carretera se ve afectada por deslizamientos de tierra están delimitadas en gris (“posiblemente” afectadas) y en negro (“sí”, afectadas). Los posibles puntos de obstrucción en carretera están representados por un punto rojo. Cada recuadro es una celda de cuadrícula de 2.5 km x 2.5 km. Las celdas de la cuadrícula que no tienen un color indicado aún no se han evaluado. Recuperado de https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards/science/2026-venezuela-sequence-earthquake-triggered-landslide-hazards el 27 de julio de 2026. 242
Figura 10-3. Deslizamientos de tierra cartografiados identificados a partir de imágenes satelitales en las áreas A y B. Color de fondo según las probabilidades del modelo de deslizamientos de tierra del USGS (Nowicki Jessee et al., 2018) con una resolución de ~250 m. El color azul indica menor susceptibilidad y el color rojo indica mayor susceptibilidad. Los puntos magenta indican la ubicación de los deslizamientos de tierra provocados por el terremoto del 24 de junio, según los mapas elaborados por el equipo GEER a partir de imágenes satelitales tomadas antes y después del sismo. 243
Figura 10-4. Área de ejemplo (10.5824865°, −67.0005823°) con numerosos deslizamientos observables en las imágenes posteriores al terremoto que también son visibles en las imágenes anteriores al terremoto. Los deslizamientos de tierra preexistentes no se cartografiaron a menos que se observaran indicios de reactivación. Imágenes aéreas de Vantor. 244
Figura 10-5. Recuento de deslizamientos de tierra observados en las áreas de imágenes A y B según la orientación de la ladera. Los colores indican el ángulo máximo de la ladera calculado en base a un modelo de elevación digital con una resolución de 30 metros. La tendencia hacia el este refleja un efecto de asimetría. La tendencia hacia el norte refleja la posición de la Cordillera de la Costa en relación con la falla. 245
Figura 10-6. Ejemplo de los impactos causados por aludes torrenciales de diciembre de 1999, que muestra específicamente los sedimentos depositados a lo largo de los abanicos aluviales alrededor de Caraballeda. Fuente: Cartografía Nacional mosaicos de fotografías aéreas proporcionadas por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (IMF-UCV). 247
Figura 10-7. Imágenes satelitales que comparan las condiciones previas (arriba) y posteriores (abajo) al evento de aludes torrenciales de diciembre de 1999, mostrando las cicatrices generadas por deslizamientos de tierra y eliminación de vegetación en las laderas de la montaña, desde la cuenca de Alcantarilla en el oeste hasta la cuenca de Anare en el este. Fuente: Imágenes satelitales proporcionadas por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (IMF-UCV). 248
Figura 10-8. Intersección de las estructuras afectadas durante los terremotos del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, consultado por última vez el 30 de junio de 2026) con los depósitos de

sedimentos cartografiados tras los aludes torrenciales de diciembre de 1999. La extensión de los depósitos de sedimentos se recopiló de Wieczorek et al. (2001), mapas de JICA citados en Proyecto Ávila (FMI-UCV, 2002), y mosaicos de fotografías aéreas de Cartografía Nacional de diciembre de 1999 proporcionados por FMI-UCV..... 250
Figura 10-9. Cambios en la línea costera asociados con la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999, mostrando las estructuras afectadas por el terremoto del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, último acceso el 30 de junio de 2026) en el área que rodea el Aeropuerto Internacional de Maiquetía Simón Bolívar. La línea costera anterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 1998, y la línea costera posterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 2000..... 254
Figura 10-10. Cambios en la línea costera asociados con la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999, mostrando las estructuras afectadas por el terremoto del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, último acceso el 30 de junio de 2026) en el área que rodea Caraballeda. La línea costera anterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 1998, y la línea costera posterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 2000. 255
Figura 10-11. Intersección de las zonas afectadas por los terremotos del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, consultado por última vez el 30 de junio de 2026) con zonas de riesgo de flujos de detritos. Los mapas originales de riesgo de flujos de detritos se elaboraron en el marco del Proyecto Ávila (IMF-UCV, 2002). La figura muestra el mapa de riesgo elevado de flujos de detritos; no incluye las zonas de riesgo medio o bajo. Para las cuencas de Mamo, La Zorra, Tacagua, Piedra Azul, Alcantarilla, San José de Galipán (Macuto), Quebrada Seca, y Cerro Grande, se utilizaron mapas actualizados de peligro de flujo de escombros que incorporan la influencia de las presas de control de sedimentos (Courtel et al., 2021). 259
Figura 10-12. Las cuencas hidrográficas (en color púrpura) se delimitaron manualmente mediante una evaluación geomorfológica de los flancos norte y sur de la montaña El Ávila. Los posibles deslizamientos de tierra cosísmicos (en azul) se cartografiaron como nuevas anomalías en la pendiente detectadas al comparar imágenes aéreas anteriores y posteriores al terremoto. Nota: Los límites de las cuencas hidrográficas del sur están truncados (líneas discontinuas) en la falda sur de la montaña El Ávila y no abarcan las cuencas de Caracas. 261
Figura 10-13. Deslizamiento de tierra que afecta la carretera de acceso secundaria en la cuenca hidrográfica hacia Maiquetía (66.9712359°O, 10.5703273°N). Imágenes aéreas de Vantor..... 263
Figura 10-14. Deslizamiento de tierra, incluyendo cierta reactivación, con posibles impactos en la Carretera Vieja de La Guaira (antigua carretera a La Guaira) y en la parte alta de la entrada sur del túnel Boquerón 1 (67.0015900°O, 10.5616871°N). Imágenes aéreas de Vantor. 264
Figura 10-15. Deslizamientos de tierra que afectan aproximadamente a 400 metros de la carretera a Puerto Cruz. (67.337402 O, 10.529022 N). Imágenes aéreas de la escena 26JUN25142038-S2AS-200013362902_01_P001 de Maxar WorldView-2. 265
Figura 10-16. Deslizamientos entre las residencias de Hugo Chávez y el río Tacagua. Los contornos de los deslizamientos de tierra representados en el mapa están indicados con líneas discontinuas de color púrpura. Las grietas de tensión y los escarpes de cabecera están indicados en verde, y el ancho de la calzada utilizable (reducido de dos a un carril debido a los impactos de los deslizamientos de tierra) a lo largo de Vía Alterna Playa Grande está indicado en cian. (67.0251448°W, 10.6048289°N). Imágenes aéreas de Vantor..... 266
Figura 10-17. Deslizamientos al sur de las residencias Hugo Chávez y la Avenida A. En las dos áreas ampliadas etiquetadas como 1 y 2, se muestran las imágenes posteriores al terremoto con y

sin las marcas de las grietas que se muestran en verde. (67.0202560°W, 10.6051444°N). Imágenes aéreas de Vantor. 267
Figura 10-18. Deslizamientos de tierra con escombros liberados detrás (Diapositiva 3) y delante (Diapositivas 1 y 2) de la presa de retención de Cerro Grande. En las diapositivas 2 y 3 se aprecian fallos superficiales. El afloramiento expuesto en la diapositiva 3 muestra una mezcla de material recientemente removido y superficie erosionada (previamente expuesta). La parte visible de la diapositiva 2 parece haber sido expuesta recientemente. Fotografía cortesía de Pascual Perazzo. (66.81881 O, 10.598951 N). 268
Figura 10-19. Los suelos desplazados fluyen hacia el río Naiguatá, con una acumulación significativa inmediatamente aguas abajo de la presa de retención. Los deslizamientos se muestran con líneas discontinuas de color púrpura. Cuenca hidrográfica hacia Naiguatá (66.7441971°O, 10.6022971°N). Imágenes aéreas de Vantor. 269
Figura 10-20. Nuevos deslizamientos y otros reactivados se dirigen hacia el río San Julián. Obsérvese la distorsión de la imagen posterior al terremoto. Los deslizamientos de tierra se muestran con líneas discontinuas de color púrpura. Cuenca hidrográfica hacia Caraballeda (66.8480896°O, 10.5910641°N). Imágenes aéreas de Vantor. 270
Figura 10-21. Deslizamiento de tierra en los bordes de una formación geológica existente que puede ser un deslizamiento traslacional coherente histórico. La fuga de material derivada de la actividad visible afecta a Quebrada Tacagua. Determinar si el desplazamiento en una superficie de deslizamiento coherente más profunda se movilizó (o removilizó) es de interés para futuras investigaciones y para comprender el potencial de formación de presas por deslizamientos de tierra en Quebrada Tacagua. Vista topográfica de Esri World Hillshade e imágenes aéreas de Vantor. (67.008121 O, 10.570883 N). 271
Figura 10-22. Ejemplo típico de deslizamientos superficiales distribuidos en una amplia zona geográfica en el Área B. Muchos deslizamientos impactan el arroyo en el fondo de la cuenca (aguas abajo de la curva del meandro abandonado). Cuenca hidrográfica hacia Puerto Cruz. (67.344641 O, 10.506438 N). Imágenes aéreas de la escena 26JUN25142038-S2AS-200013362902_01_P001 de Maxar WorldView-2. 272
Figura 10-23. Esta diapositiva es una reactivación. Se observa una expansión del escarpe de la cabezera del deslizamiento, y la distribución del color en la superficie de la diapositiva evidencia la salida de material fresco. También es un ejemplo de los deslizamientos típicos de la Cordillera de la Costa: poco profundos y con una gran alteración del terreno. Verificado sobre el terreno por el equipo de campo de GEER, Fase III, el 20 de julio de 2026 (fotografía abajo a la derecha). Tanaguarena (67.0236126°W, 10.6126782°N). Imágenes aéreas de Vantor. 273
Figura 10-24. Los nuevos deslizamientos y los que se han reactivado se dirigen hacia el río San Julián, delimitados con líneas discontinuas de color púrpura. Cuenca hidrográfica hacia Caraballeda (66.8500742°O, 10.5577138°N). Imágenes aéreas de Vantor. 274
Figura 10-25. Deslizamientos de tierra visibles desde Chacao en Caracas. (66.869378 O, 10.536159 N). Foto proporcionada por el Ing. Carlos Arcay Iturriza. 275
Figura 11-1. Banco de Venezuela, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6158426°, -66.8441623°). 282

Figura 11-2. Edificio Pleamar, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (b) Imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6128052°, -66.8244692°). 283
Figura 11-3. Edificio Remanso II, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6128236°, -66.8248012°)..... 284
Figura 11-4. Residencias Caribemar, Playa Escondida, Caraballeda: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6130375°, -66.8238775°)..... 285
Figura 11-5. Residencias San Jorge, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6120512°, -66.8249326°)..... 286
Figura 11-6. En las inmediaciones del Bistro 031, Caraballeda, La Guaira: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas aproximadas; 10.6181266°, -66.8481853°).. 287
Figura 11-7. Hospital Dr. Francisco A. Risquez, Caracas: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Javier García et al. (vista exterior); (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; 10.5159638°, -66.9054790°). 288
Figura 11-8. Hospital Dr. Francisco A. Risquez, Caracas: (a-d) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Javier García et al. (vista interior)..... 289
Figura 11-9. Residencias Sol Marino Garden, Catia La Mar, La Guaira: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Javier García et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del marcador; 10.6085261°, -67.0143629°). 290
Figura 11-10. Residencias Don Peppino, Los Corales, La Guaira: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Carlos Arcay Iturriza et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6180597°, -66.8567721°)..... 291
Figura 11-11. Residencias Costa Azul, Los Corales, La Guaira: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Carlos Arcay Iturriza et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6179687°, -66.8564707°)..... 292
Figura 11-12. Centro Comercial IP5, Caraballeda, La Guaira: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Carlos Arcay Iturriza et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6183576°, -66.8507656°)..... 293
Figura 11-13. Edificio Costa Bella, Caraballeda, La Guaira: (a-c) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Javier García et al.; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador: 10.6176043°, -66.8507197°)..... 294
Figura 11-14. Terminal Catia La Mar, La Guaira: (a-d) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Eduardo Núñez, Ramon Mata et al.; (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; 10.600856°, -67.040550°)..... 295
Figura 11-15. Hospital San José, Maiquetía, La Guaira: (a-f) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Gustavo Iribarren et al. (vista interior); (g) Imágenes aéreas de Google

Earth con fecha del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del marcador; 10.5958047°, -66.9571705°). 296
Figura 11-16. Pueblo Ferriar, Yaracuy: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Ramon Mata, Eduardo Núñez et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 21 de octubre de 2023 (coordenadas del marcador; 10.465698°, -68.561734°). 297
Figura 11-17. Marina de Caraballeda, Caraballeda, La Guaira: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Ramon Mata, Eduardo Núñez et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.616464°, -66.840234°). 298
Figura 11-18. Residencia Torre Marina, Playa Grande, Catia La Mar: (a-c) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier et al.; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del marcador; 10.611680°, -67.018608°; 10.612796°, -67.018606°; 10.611117°, -67.019162°)..... 300
Figura 11-19. Urbanismo Hugo Chávez, Catia La Mar, La Guaira: (a-g) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier et al.; (d) Imágenes aéreas de Google Earth del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del urbanismo; 10.607224°, -67.023786°)..... 302
Figura 11-20. Edificio Auromar, Caraballeda, La Guaira: (a,b) Antes de los terremotos (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6147290°, -66.8363246°)..... 303
Figura 11-21 Edificio Auromar, Caraballeda, La Guaira: (a-d) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier (vista exterior) (coords.; 10.6147290°, -66.8363246°)..... 304
Figura 11-22. Edificio Auromar, Caraballeda, La Guaira: (a-c) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier (vista interior) (coordenadas del marecador; 10.6147290°, -66.8363246°)..... 304
Figura 11-23. Avenida José María España, Caraballeda, La Guaira: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier; (c) Imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; a: 10.618889°, -66.850278°; b: 10,618333 °, -66,855556 °)..... 305
Figura 11-24. Blvr. Niza, Caraballeda, La Guaira: (a) Carretera gravemente dañada tras los terremotos, sin viviendas ni otras estructuras, construida en terrenos ganados al mar tras el flujo de escombros de 1999, fotografía cortesía de Luis Fargier; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.616944°, -66.847778°). 306
Figura 11-25 Caracas: (a) Falla del muro de contención después de los terremotos, (b-c) muros que no fallaron, fotografías cortesía de Eduardo García; (d) Imagen aérea del caso (a) de Google Earth con fecha del 30 de enero de 2026; (e) Imagen aérea del caso (b) de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; a: 10.4032190°, -66.8807752°; otras referencias.; b: Avenida Baralt). 307
Figura 11-26 Mamo, La Guaira: (a-c) Evidencia de fisuras en el suelo después de los terremotos, fotografías cortesía de Gustavo Iribarren; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; 10.594722°, -67.042222°)..... 308
Figura 11-27. Carretera El Junquito-Colonia Tovar, frontera entre La Guaira y Caracas: (a,b) Fallas de taludes localizadas a lo largo de la carretera tras los terremotos, fotografías cortesía de Gustavo Iribarren; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; a: 10.446667°, -67.144444°; b: 10,460000 °, -67,093333 °)..... 309
Figura 11-28. Bloque representativo del complejo (a) antes y (b) después de los terremotos, que muestra la cuadrícula regular de las unidades y el espaciado reducido dentro de cada fila.

Imágenes: Vantor (Maxar) Datos abiertos, CC BY-NC 4.0 (coordenadas GPS del centro del bloque: 10°36'24"N, 67°01'27"W). 310
Figura 11-29. Un único módulo visto desde la calle. Las dos alas y el tramo central retranqueado entre ellas dan lugar a la planta en forma de H que se puede ver desde arriba en la Figura 11-28, y las aberturas entre ellas son esquinas entrantes de un mismo edificio en lugar de huecos entre edificios separados. Un módulo vecino se encuentra a pocos metros de distancia, en el borde izquierdo del marco (coordenadas GPS: 10°36'27.6"N, 67°01'19.7"W). 311
Figura 11-30. Fotografías tomadas por miembros del equipo de campo de GEER que muestran el funcionamiento de los anclajes que conectan la losa de cimentación con el sistema de resistencia a fuerzas laterales en algunas de las unidades. 312
Figura 11-31. Estado de los daños en las unidades individuales sobre la imagen satelital posterior al terremoto. El derrumbe parece producirse en grupos que siguen las hileras: varias hileras se ven afectadas casi de extremo a extremo, mientras que las hileras adyacentes, a poco más de quince metros de distancia, presentan diferentes patrones de daños. Imagen base: Vantor (Maxar) Datos abiertos, CC BY-NC 4.0 (coordenadas GPS del área mostrada: 10°36'20"N a 10°36'30"N, 67°01'20"W a 67°01'35"W). 313
Figura 11-32. Una vivienda que perdió su planta baja. Los pisos superiores se derrumbaron sobre los escombros del piso inferior y permanecen prácticamente intactos, razón por la cual este fallo es difícil de apreciar en las imágenes verticales. Detrás de ella hay unidades del mismo tipo, y la unidad de la derecha ha perdido la esquina de su carcasa (coordenadas GPS: 10°36'23.7"N, 67°01'26.5"W). 314
Figura 11-33. Una unidad aparentemente del mismo tipo que la que se muestra en la Figura 11-31, pero ubicada a poca distancia, con su primer piso muy agrietado; sin embargo, sigue en pie. Los escombros de la izquierda pertenecen a la unidad derrumbada que se encuentra a su lado (coordenadas GPS: 10°36'23.9"N, 67°01'29.9"W). 315
Figura 11-34. Clasificación del sitio (MOP 1965) 317
Figura 11-35. Espectro de diseño (CONVENIN 1756-82) 319
Figura 11-36. Zonas sísmicas de acuerdo con la norma 1756-01 (COVENIN 1756-01) 320
Figura 11-37. Espectro de diseño (1756-01) 321
Figura 11-38. Clasificación del sitio (S1, S2 y S3), Código 1756-01 321
Figura 12-1. Ubicación de las presas dentro de las áreas con mayor PGA (fuente: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/shakemap/intensity). Los epicentros están marcados en rojo. 331
Figura 12-2. La presa de El Tablazo: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit. 332
Figura 12-3. Presa de Pao La Balsa: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit. 333
Figura 12-4. Presa de Petaquire: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit. 334
Figura 12-5. Presa de Tule: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit. 335
Figura 12-6. Presas de contención de escombros a lo largo del arroyo Macuto, cortesía de Perazzo (2026). 338
Figura 12-7. Dique de Macuto, cortesía de Perazzo (2026). 338
Figura 12-8. Presa de control de sedimentos cerca de Macuto, cortesía de Perazzo (2026). 339

Figura 12-9. Presa de control de sedimentos 1 a lo largo del arroyo San Julián, cortesía de Perazzo (2026). 339
Figura 12-10. Presa de control de sedimentos en el río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026). . 340
Figura 12-11. Operaciones de agregados de construcción aguas arriba de la presa de control de sedimentos en el río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026). 341
Figura 12-12. Toma de agua sumergida en Dique Toma, cortesía de Perazzo (2026). 342
Figura 12-13. Erosión y socavación del aliviadero en Dique Toma, cortesía de Perazzo (2026). 343
Figura 12-14. Daños en el revestimiento de hormigón cerca de la salida del río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026). 343
Figura 12-15. Daños en el revestimiento de hormigón cerca de la salida del río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026). 344
Figura 13-1. MenaLive publicó en X con el siguiente pie de foto: “Large oil leak at El Palito refinery after yesterday’s strong earthquakes in #Venezuela” [“Gran fuga de petróleo en la refinería de El Palito tras los fuertes terremotos de ayer en #Venezuela”] 348
Figura 13-2. Continúan las labores de restauración en el municipio de Páez para restablecer el suministro de agua a toda la comarca de Barlovento. 351
Figura 14-1. Probabilidades de mortalidad y pérdidas económicas según el sistema PAGER del USGS para el terremoto de magnitud 7.5 (cerca de Yumare), Venezuela. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos. 357
Figura 14-2. Probabilidades de mortalidad y pérdidas económicas según el sistema PAGER del USGS para el terremoto de magnitud 7.2 (cerca de San Felipe), Venezuela. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos. 358
Figura 14-3. Distribución espacial del promedio estimado de muertes por análisis GEM. 360
Figura 14-4. Distribución espacial del promedio estimado de edificios irreparables según el análisis GEM. 361
Figura 14-5. Agregación a nivel municipal de los daños directos modelados a edificios e infraestructura en el norte de Venezuela, basada en la estimación analítica de daños de la UNDRR (UNDRR, 2026, Figura 5). 362
Figura 14-6. Víctimas reportadas a lo largo del tiempo según los informes diarios de situación de la OCHA de la ONU, que citan cifras oficiales. 364
Figura 14-7. Poblaciones desplazadas reportadas a lo largo del tiempo según los informes diarios de situación de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (OCHA). 365
Figura 14-8. Población reportada en refugios temporales a lo largo del tiempo según los informes diarios de situación de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (OCHA), desglosados por estado. 365
Figura 14-9. Puesto sanitario provisional de la Cruz Roja en La Guaira, donde voluntarios y personal médico ofrecen consultas de emergencia y primeros auxilios a las personas afectadas por los terremotos. 369
Figura 14-10. Hospital Dr. Francisco A. Risquez (a) Antes de los terremotos de Periódico CiudadCCS, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (10.51615922°, -66.90547798°). ii

Figura 14-11. Edificio San Judas Tadeo (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 3 de enero de 2026 (coordenadas: 10.48525157°, - 66.94035304°)..... iii
Figura 14-12. Edificio Obelisco (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) – (c) después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49896165°, -66.84871364°)..... iv
Figura 14-13. Edificio Don Pepe (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.492412°, -66.853523°)..... v
Figura 14-14. Edificio BanCaribe (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.5001565°, -66.8496062°)..... vi
Figura 14-15. Bloque 5 Pinto de Salinas (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.5110282°, -66.886817°)..... vii
Figura 14-16. Edificio Castillete (a) Después de los terremotos de las redes sociales, (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49918999°, -66.84532625°)..... viii
Figura 14-17. Edificio San Miguel (a) Después de los terremotos de las redes sociales, (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49200224°, -66.84799166°)..... viii
Figura 14-18. Edificio Padula (a) Después de los terremotos de las redes sociales, (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49041086°, -66.85042528°)..... ix
Figura 14-19. Conjunto Residencial Las Américas Edificios (a) – (b) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 22 de marzo de 2024 (coordenadas: 10.4907061°, -66.9396332°) x
Figura 14-20. Edificios de Capri (a) – (b) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de febrero de 2025 (coordenadas: 10.48464819°, -66.94188545°)..... xi
Figura 14-21. Edificio Sorocaima (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas: 10.5107683°, -66.9007435°)..... xii
Figura 14-22. Urbanización Palo Grande Building (a) – (d) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de febrero de 2025 (coordenadas: 10.495449°, -66.933783°) xiii
Figura 14-23. Iglesia de Las Mercedes (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.510401°, -66.9141653°)..... xiv
Figura 14-24. Urbanización La Esperanza Edificio (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de febrero de 2025 (coordenadas: 10.49683279°, -66.95569754°)..... xv

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A: Edificios caídos versus edificios dañados en Caracas (ejemplos)

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

API	Interfaz de programación de aplicaciones
ASTM	ASTM International
CB	Cinturón de Caracas
CF	Falla Cantagallo
CLaSH	Center for Land and Surface Hazards
CMMI	Innovación en ingeniería civil, mecánica y manufacturera
CNR	Consejo Nacional de Investigación de Italia
CONVERGE	CONVERGE Natural Hazards Center
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales
CT	Cinturón Caucagua–El Tinaco
CVC	Cámara Venezolana de la Construcción
DEM	Modelo digital de elevación (MDE)
DOI	Identificador de objeto digital
DTM	Modelo digital de terreno
ESCALA	Comunidad Estudiantil de Ingeniería Sísmica y Sismología de América Latina
EERI	Earthquake Engineering Research Institute
ENE	este-noreste
ESA	Agencia Espacial Europea
FUNVISIS	Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
GEER	Geotechnical Extreme Event Reconnaissance association
GEM	Modelo global de terremotos
GFZ	Helmholtz Centre for Geosciences
GIS	Sistema de Información Geográfica
GNSS	Sistema Global de Navegación por Satélite
GRADE	Estimación rápida de daños a nivel mundial
HVSR	Relación espectral horizontal-vertical
IMF-UCV	Instituto de Mecánica de Fluidos, Universidad Central de Venezuela
IMME	Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la UCV
InSAR	Radar de apertura sintética interferométrica
INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

OIM	Organización Internacional para las Migraciones
IREA-CNR	Instituto para la Detección Electromagnética del Medio Ambiente, Consejo Nacional de Investigación de Italia
ISSMGE	International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
JICA	Agencia de Cooperación Internacional de Japón
JSON	Notación de objetos JavaScript
LACSC	Latin American and Caribbean Seismological Commission
LFE	Learning from Earthquakes
LHP	Cinturón Loma de Hierro–Paracotos
LOS	Línea de visión
M	Magnitud del momento
MMI	Intensidad de Mercalli modificada
MOP	Ministerio de Obras Públicas
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NC	North Carolina
NISAR	Radar de apertura sintética NASA-ISRO
NSF	National Science Foundation
NZSEE	New Zealand Society for Earthquake Engineering
OCHA	Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios
PAGER	Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response
PGA	aceleración máxima del suelo
RGR	RGR Ingeniería
SAR	Radar de apertura sintética
SPT	Prueba de penetración estándar
StEER	Reconocimiento de eventos estructurales extremos
SVDG	Sociedad Venezolana de Geotecnia
UAV	Vehículo aéreo no tripulado
UCAB	Universidad Católica Andrés Bello
UCV	Universidad Central de Venezuela
UNDRR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
UNIMET	Universidad Metropolitana

USACE	Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos
USCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos

1. INTRODUCCIÓN

El 24 de junio de 2026, mientras Venezuela se encontraba en un día feriado nacional, a las 18:04:31 hora local (22:04:31 hora universal coordinada [UTC]) se produjo un terremoto de magnitud de momento **M**, 7.2 con epicentro cerca de la ciudad de San Felipe, en el estado de Yaracuy, según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). El epicentro se ubicó en 10.371°, −68.556°, aproximadamente a 21 kilómetros (km) al ENE de San Felipe (consulte la Figura 1-1) y presentó una profundidad hipocentral de 10 km (USGS 2026a). Aproximadamente 30 segundos después, a las 18:05:03 hora local (22:05:03 UTC), se produjo el terremoto de magnitud 7.5 en Catia La Mar. Este terremoto tuvo un epicentro ubicado en 10.622°°, −67.194°, 17 km ENE de Catia La Mar, en el estado de La Guaira (consulte la Figura 1-1). La profundidad hipocentral de este terremoto fue de 10 km (USGS 2026b).

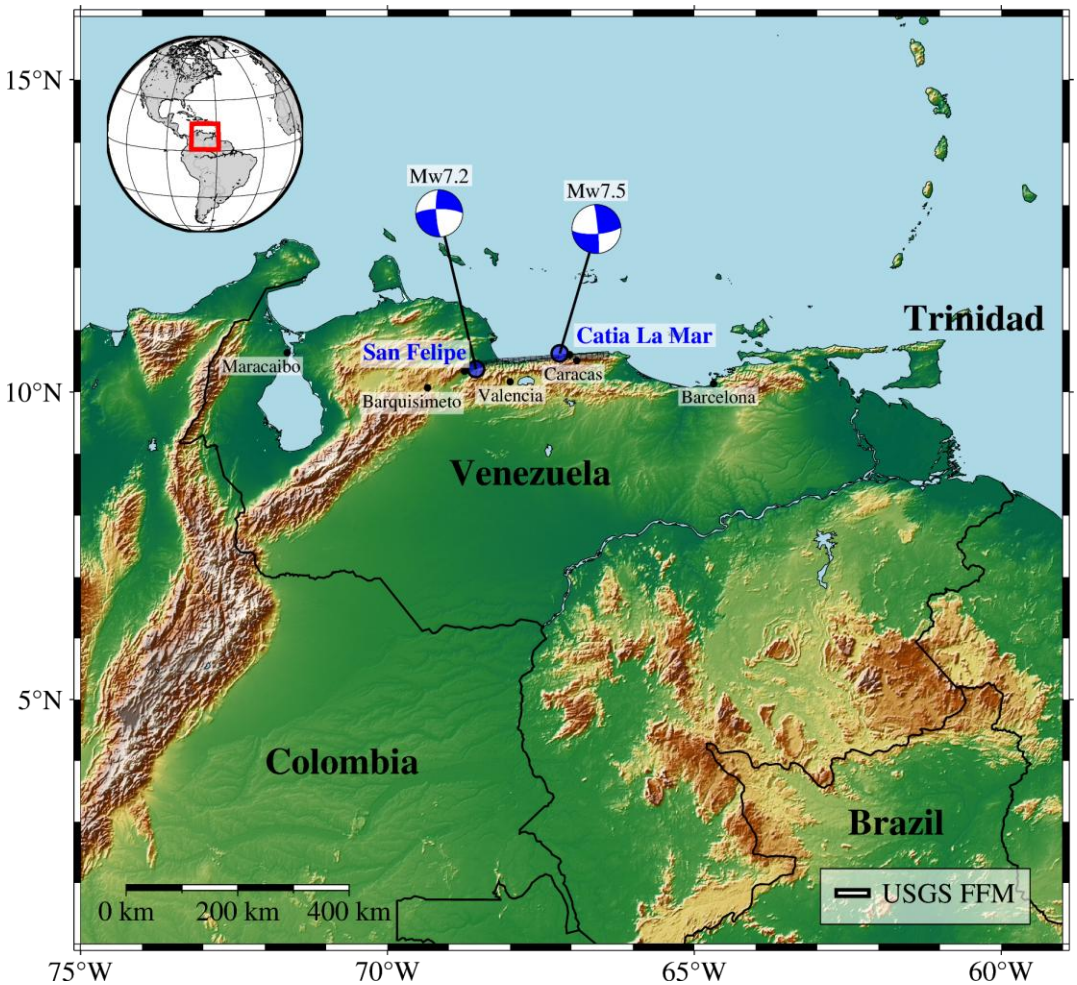


Figura 1-1. Mapa de Venezuela que muestra la ubicación de los epicentros de los terremotos de junio de 2026 en San Felipe (M 7.2) y Catia La Mar (M 7.5). Se muestran los mecanismos focales (del USGS) para ambos eventos.

A la fecha de publicación de este informe, la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), que supervisa la red venezolana de estaciones de registro de movimientos telúricos fuertes, no ha puesto a disposición del público las grabaciones de estos eventos.

Como se muestra en la Figura 1-2 y en la Figura 1-3, el norte de Venezuela se encuentra dentro de una amplia zona de límite de placas transpresivas entre las placas del Caribe y de Sudamérica. El movimiento de placas dextral se distribuye entre varias fallas activas, principalmente los sistemas Boconó-San Sebastián-El Pilar y Oca-Ancón (Audemard 2000).

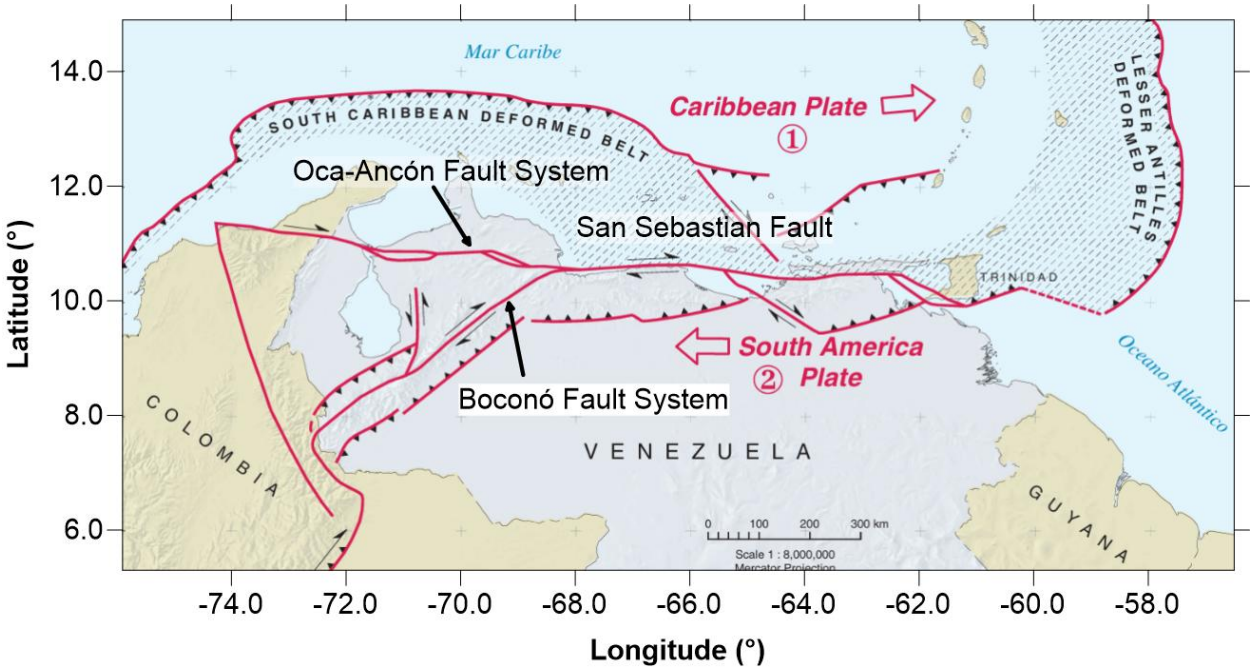


Figura 1-2. Diagrama de los límites de las placas de Venezuela (modificado de Audemard 2000).

El evento de magnitud 7.5 se produjo como resultado de una falla de desplazamiento lateral superficial cerca del límite de las placas del Caribe y Sudamérica (USGS; consultada por última vez: 2 de agosto de 2026). Como se puede observar en la Figura 1-2, la placa del Caribe se está desplazando hacia el este con respecto a la placa de Sudamérica a una velocidad aproximada de 18-20 milímetros por año (mm/año). El modelo de ruptura finita del USGS desarrollado para el evento de magnitud 7.5 indica una longitud de ruptura de unos 175 km y un ancho de aproximadamente 20 km. El Helmholtz Centre for Geosciences informó de dos subrupturas de magnitud 7.3 (en el extremo noreste de la falla de Boconó) y 7.4 (a lo largo de la falla de San Sebastián, con desplazamiento lateral derecho). Esta última se extiende de este a oeste (como se ve en la Figura 1-2 y en la Figura 1-3) y está ubicada entre 10 y 15 km al norte de Caracas, la capital de Venezuela.

El epicentro de estos terremotos se ubicó a menos de 250 km de la zona más poblada del país, incluyendo la capital, Caracas, con una población de aproximadamente 5,5 millones de habitantes, y Valencia y Maracay, que son la tercera y quinta ciudades más grandes del país (consulte la Figura 1-4). Las informaciones que aparecieron en la prensa inmediatamente después de los sismos

indicaron daños importantes en las estructuras ubicadas al este y al sur del primer y segundo epicentro, respectivamente.

Los terremotos del 24 de junio de 2026 causaron más de 6.000 muertos y dejaron cerca de 61.000 heridos, según cifras oficiales publicadas por el gobierno venezolano el 3 de agosto de 2026 (Reuters[1]). Según el Grupo del Banco Mundial, y basándose en la metodología de Estimación Rápida de Daños Globales (GRADE, por sus siglas en inglés), los terremotos también generaron 19.600 millones de dólares estadounidenses en daños físicos directos. Los daños más significativos en los sistemas de infraestructura se concentraron en el estado de La Guaira, particularmente en Caraballeda, Caribe y Catia La Mar, así como en áreas específicas de Caracas, a saber, las urbanizaciones de San Bernardino y Los Palos Grandes.

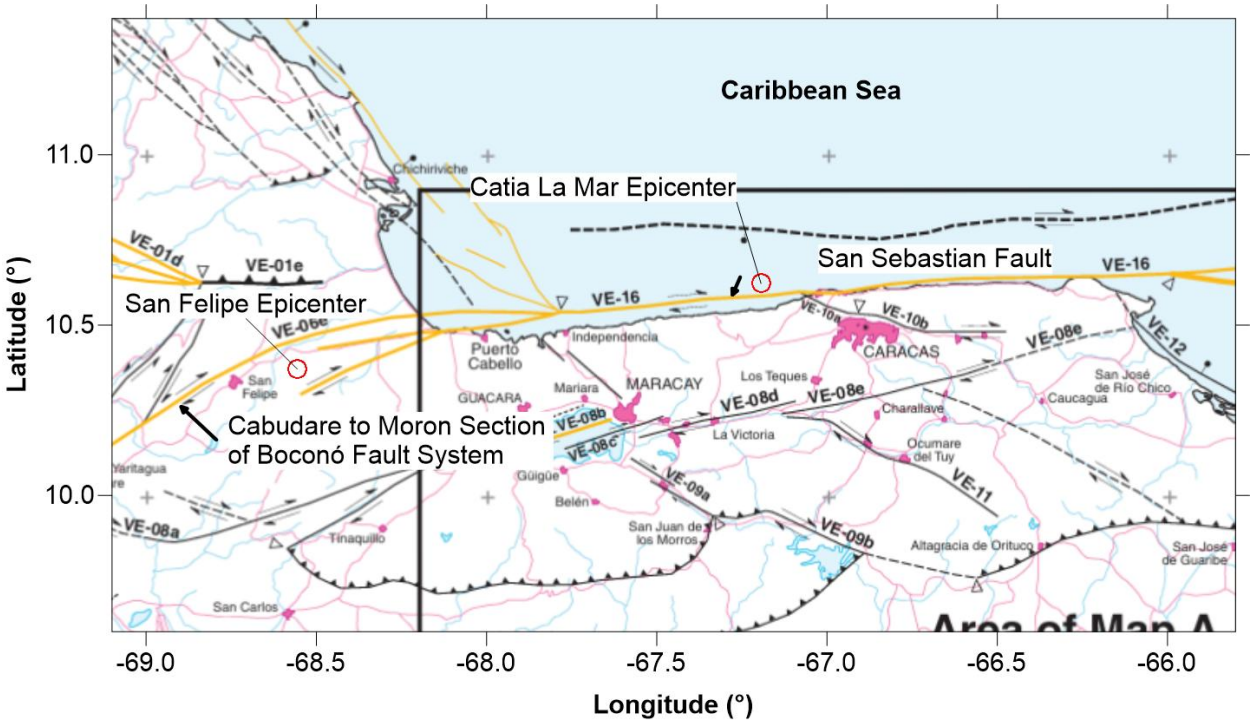


Figura 1-3. Mapa de fallas cuaternarias dentro del área de interés (modificado de Audemard 2000).

1.1 Alcance del reconocimiento

La dirección la asociación Geotechnical Extreme Event Reconnaissance (GEER) identificaron rápidamente la necesidad de documentar los efectos relacionados con la ingeniería geotécnica derivados de estos terremotos. En tal sentido, desde el principio, los colíderes de la misión, Ashly Cabas (NC State University) y Rodolfo B. Sancio (Geosyntec Consultants, Inc.), mantuvieron comunicación frecuente con profesores y profesionales en Venezuela, así como con la dirección de GEER, para identificar mecanismos eficaces para la respuesta rápida a estos acontecimientos. Se adoptó un enfoque de reconocimiento híbrido, con un equipo remoto (que no viajó) y un equipo local sobre el terreno. Inicialmente, el equipo remoto de GEER recopiló, seleccionó y validó información útil sobre la cobertura posterior al desastre y de los informes inmediatos relacionados

[1] https://www.reuters.com/business/environment/death-toll-venezuela-june-earthquakes-tops-6000-2026-08-03/

con el desastre que aparecieron en redes sociales. Paralelamente, el equipo de GEER, aprovechando sus sólidas conexiones en Venezuela y en el extranjero, colaboró con académicos, ingenieros y estudiantes locales que ya se encontraban cerca de las zonas afectadas para recopilar datos adicionales de alta calidad sobre las consecuencias geotécnicas identificadas por el equipo remoto. Los colíderes del equipo de GEER también participaron en tres reuniones de coordinación de respuesta dirigidas por los coordinadores del programa Learning from Earthquakes (LFE) del Earthquake Engineering Research Institute (EERI) (es decir, Robb Moss y Ayse Hortacsu), donde se proporcionó información contextual útil y asistieron profesionales locales y grupos internacionales interesados. El equipo de GEER colaboró con investigadores y académicos de otras instituciones a medida que los objetivos de recopilación de datos se fueron aclarando y se identificaron importantes sinergias entre los diferentes grupos.

Los equipos de campo de GEER se dividieron en tres fases. La Fase I estuvo integrada por Francisco Pinto (Universidad de Chile), Eduardo García (Universidad Central de Venezuela), Javier García (RGR Ingeniería) y Valentina Páez (Universidad Central de Venezuela, UCV) y se desplegó desde el 29 de junio hasta el 9 de julio. El objetivo del equipo de campo de la Fase I era recopilar datos perecederos en áreas con daños graves por los terremotos e identificar sitios de interés para la recopilación de datos en el futuro. Los miembros de la Fase I del equipo de campo de GEER colaboraron estrechamente con Eduardo Miranda (Universidad de Stanford), Camila López (Degenkolb), Carlos Arteta (Universidad del Norte, Colombia), Jorge Archbold (Universidad del Norte, Colombia), así como con los estudiantes de doctorado Nathan Gormay y Diego Montemayor de Stanford University, quienes también hacían labores de reconocimiento en Venezuela al mismo tiempo.

Los miembros de la Fase II incluyeron a Luis Fargier-Gabaldón (University of Notre Dame), Eduardo Núñez (Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile) y Ramón Mata-Lemus (Universidad San Sebastián, Chile), quienes además de las zonas dañadas en Caracas y La Guaira, visitaron áreas en Valencia y Maracay (consulte la Figura 1-4). Los miembros de la Fase II del equipo de campo de GEER se desplegaron del 9 al 22 de julio. Los miembros del equipo de campo de la Fase III del proyecto de GEER coincidieron con los de la Fase II y eran estudiantes venezolanos y profesionales noveles que centraron la recopilación de datos en la zona de Caraballeda, en La Guaira, una de las más afectadas. El equipo de la Fase III estuvo desplegado del 11 al 19 de julio y estuvo integrado por Isabella Sánchez (Universidad Metropolitana, UNIMET), Ericka Jiménez (Universidad Católica Andrés Bello, UCAB), Vicmarly Paredes (UCAB), Daniel León (UNIMET), Ernesto Toro (UCAB), Andrea Calles y Jhendiel Anato. El 11 de julio se llevó a cabo una sesión de capacitación sobre prácticas de reconocimiento adecuadas, en la que los estudiantes recibieron instrucción y apoyo a distancia sobre cómo ejecutar labores de reconocimiento por parte de los colíderes del equipo de GEER.

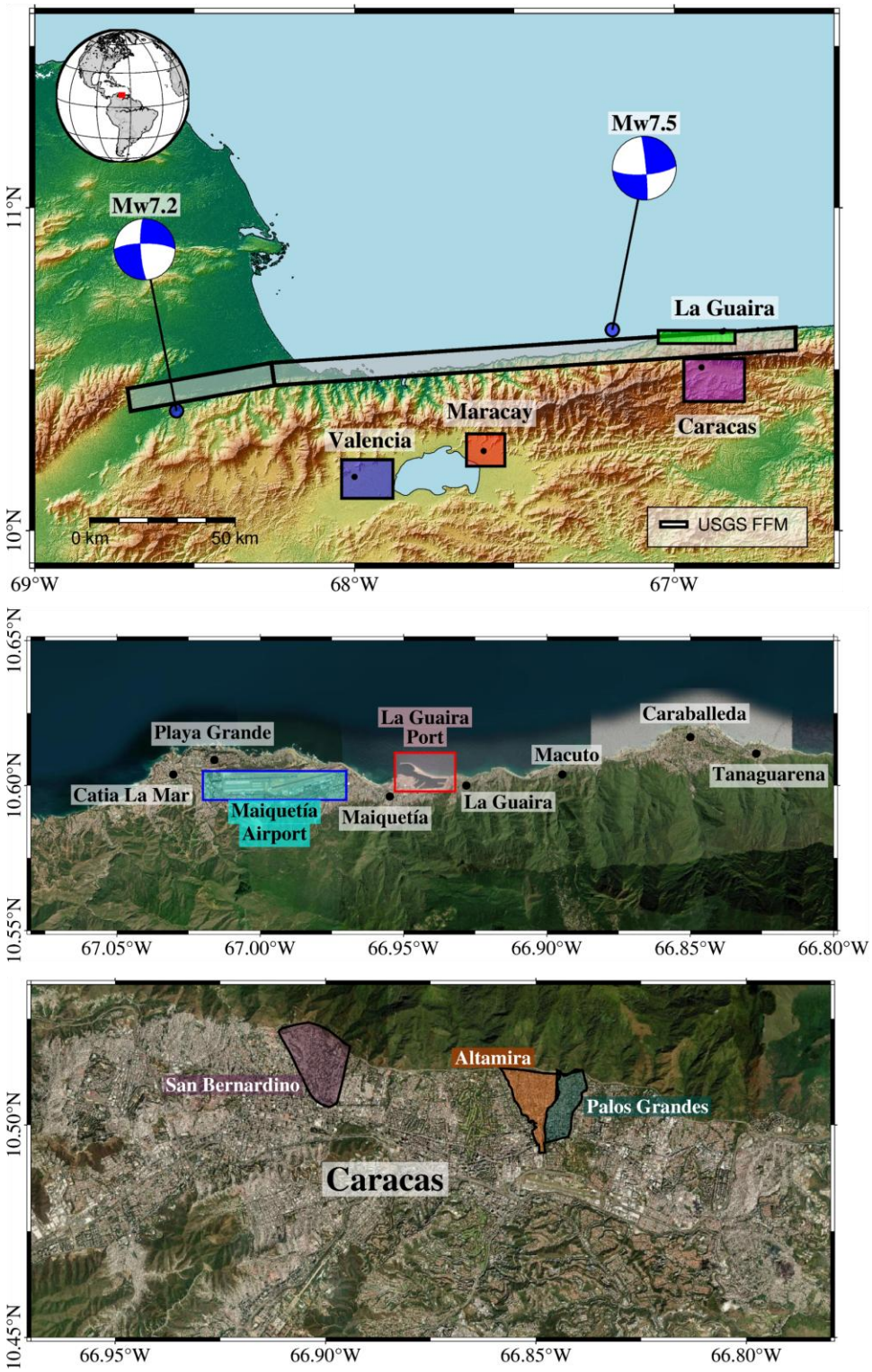


Figura 1-4. Descripción general de la zona central de la costa norte de Venezuela y áreas prioritarias para los equipos de campo de GEER de las fases I, II y III, así como para el equipo remoto de GEER que no viajó.

La recopilación de datos perecederos se coordinó de forma cercana con aliados locales en Venezuela, específicamente con miembros de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG): Heriberto Echezuría, Wagdi Naime, Gustavo Iribarren y José Ignacio Amundaray. Eduardo García (UCV) también brindó apoyo cercano a todos los equipos de campo de GEER durante las tres fases. En Venezuela continúan las inspecciones de las presas de retención de sedimentos, y los colaboradores José Luis López (UCV) y Pascual Perazzo (Carpi Tech; Universidad Simón Bolívar) lideran estos esfuerzos y comparten sus observaciones con el equipo de GEER. Sergio Marín (MGR Consultores) y Franco de Paola (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, USACE) son los colaboradores que contribuyen con las evaluaciones de funcionamiento de las presas después de los terremotos.

Durante las tres fases de trabajo de campo y las actividades paralelas de reconocimiento remoto, el equipo de GEER logró comprender mejor el alcance de los daños y evaluó la magnitud del esfuerzo de reconocimiento necesario para recopilar e integrar los datos más relevantes y urgentes. Basándonos en estos primeros esfuerzos de recopilación de datos y observaciones preliminares, ofrecemos información sobre lo siguiente:

- Efectos de la geología local en el movimiento telúrico (incluida la respuesta local del terreno, los efectos topográficos y los efectos de la licuación).
- Características de la ruptura de la falla.
- Manifestación superficial del desencadenamiento de la licuación y desprendimiento lateral inducida por la licuación.
- Daños a la infraestructura (p. ej., edificios, carreteras, puertos, zonas costeras, presas, estructuras de contención y oleoductos).
- Deslizamientos de tierra inducidos por los sismos.
- Intersección de riesgos geológicos (p. ej., movimientos del terreno por sismos, deslizamientos de tierra y flujo de detritos).

1.2 Objetivos de reconocimiento

Las observaciones incluidas en este informe son el resultado de un esfuerzo verdaderamente colaborativo e interdisciplinario entre equipos con diferentes antecedentes técnicos, ubicaciones geográficas y organizaciones (detallado en la Sección 2). El objetivo de esta primera versión del informe de GEER es resumir los hallazgos preliminares del equipo de investigación colaborativa y sentar las bases para futuras investigaciones más exhaustivas sobre los terremotos en Venezuela.

Debido a que el epicentro del sismo de magnitud 7.5 se ubicó justo al norte de la ciudad de Catia La Mar, y hubo daños extensos en La Guaira y más localizados en áreas específicas de Caracas, las labores de reconocimiento se centraron en estas áreas.

1.3 Organización del informe

Este informe está dirigido a personas con conocimientos sobre ingeniería geotécnica y sísmica. Está organizado de la siguiente manera:

- La sección 2 describe la estructura del equipo y el enfoque para la recopilación de datos
- La sección 3 ofrece información detallada sobre el contexto tectónico regional
- La sección 4 proporciona el contexto geológico
- La sección 5 proporciona información adicional sobre la sismicidad y las características de la fuente
- La sección 6 incluye información sobre las características del movimiento del suelo y los efectos en el lugar
- La sección 7 ofrece una visión general sobre la evidencia de deformación del terreno observada después del terremoto a través de una revisión de fotografías satelitales y aéreas
- La sección 8 describe las observaciones de posibles lugares de ruptura de fallas en la superficie del terreno
- La sección 9 describe las observaciones de licuación
- La sección 10 describe las observaciones de deslizamientos de tierra causados por los terremotos y analiza los peligros combinados
- La sección 11 describe los impactos en la infraestructura civil
- La sección 12 describe la presencia de presas de agua y sedimentos en las áreas afectadas por el terremoto y los avances hacia la finalización de sus inspecciones
- La sección 13 analiza los impactos en redes de servicios esenciales
- La sección 14 analiza las repercusiones humanas y económicas posteriores al terremoto.

1.4 Referencias

Audemard, F.A. (2000). Major active faults of Venezuela. En: Actas del Taller Internacional sobre Estudios Tectónicos Activos en Venezuela. FUNVISIS, Caracas.

USGS. 2026a. M 7.2 - 21 km ENE de San Felipe, Venezuela. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zc/executive

USGS. 2026b. M 7.5 - 17 km al O de Catia La Mar, Venezuela. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/executive

2. ESTRUCTURA DEL EQUIPO Y ENFOQUE PARA LA RECOPILACIÓN DE DATOS

Tabla 2-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Jenny Ramírez	Ingeniera geotécnica sénior en Geosyntec Consultants, Inc.
Juan F. Perri	Ingeniero principal en Exponent, EE. UU.
Ashly Cabas	Profesora asociada, North Carolina State University

El equipo de GEER estuvo dirigido por Ashly Cabas de North Carolina State University (NC State) y Rodolfo Sancio de Geosyntec Consultants, Inc. El equipo remoto (sin viajar) de GEER estuvo integrado por expertos en ingeniería geotécnica sísmica, ingeniería estructural, geología de la ingeniería, sismología, geofísica y análisis de riesgos centrados en el ser humano, y sus nombres y afiliaciones se incluyen en la Tabla 2-2. El equipo local estuvo integrado por académicos, investigadores, profesionales y estudiantes de Venezuela que podían viajar a las zonas afectadas o que residían actualmente en el país.

Tabla 2-2. Lista del equipo remoto de GEER (en orden alfabético)

Nombre	Afiliación
Ashly Cabas	Profesora asociada en NC State, EE. UU.
Celso Castro-Bolinaga	Profesor asociado en NC State, EE. UU.
David Barba Galdamez	Estudiante de posgrado en NC State, EE. UU.
Eduardo Carrillo	Profesional en Geosyntec Consultants, EE. UU.
Felipe Kuncar	Investigador postdoctoral en la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda.
Gonzalo Montalva	Profesor de la Universidad de Concepción, Chile
Hailey-Rae Rose	Ingeniera sénior en Exponent, EE. UU.
Jenny Ramírez	Ingeniera geotécnica sénior, Geosyntec Consultants, EE. UU.
Juan F. Perri	Ingeniero principal en Exponent, EE. UU.
Karol Sánchez	Estudiante asistente de posgrado en NC State, EE. UU.
Ke Xu	Investigador postdoctoral en NC State, EE. UU.
Lorne Arnold	Profesor asistente en la Universidad de Washington Tacoma, EE. UU.
Melanie Dickson	Investigador asociado en NC State, EE. UU.
Nicole Paul	Investigadora postdoctoral en ETH Zurich, Suiza
Patricia Varela	Geóloga sénior en Geosyntec Consultants, EE. UU.
Rodolfo Sancio	Vicepresidente de Operaciones, Geosyntec Consultants, Inc., EE. UU.

Nombre	Afiliación
Shiying Nie	Científica sénior especializada en sismología en Karen Clark & Company, EE. UU.
William Zakka	Investigador de posgrado en la Universidad de California, Berkeley, EE. UU.

Los equipos de campo de GEER se organizaron en tres fases y colaboraron de forma cercana con profesionales y estudiantes locales en el terreno, quienes brindaron apoyo en materia de logística, identificación de lugares de interés y campañas de recopilación de datos. Todos los miembros del equipo de campo de GEER se enumeran en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Lista de miembros del equipo de campo de GEER (en orden alfabético)

Nombre	Afiliación
Daniel León	Estudiante, UNIMET
Eduardo García	Universidad Central de Venezuela
Eduardo Núñez	Profesor asociado, Univ. Católica de la Santísima Concepción, Chile
Ericka Jiménez	Estudiante de pregrado, UCAB
Ernesto Toro	Estudiante de pregrado, UCAB
Francisco Pinto	Profesor asistente, Universidad de Chile
Gustavo Iribarren	Profesor de la UNIMET; expresidente de la SVDG
Heriberto Echezuría	Profesor de la UCV y la UCAB; actual presidente de la Sociedad Venezolana de Geotecnia
Javier García	RGR Ingeniería, Venezuela
Jhendiel Anato	Ingeniero, UCV
José Ignacio Amundaray	Consultor, A.I.G. Venezuela
Isabella Sánchez	Estudiante de pregrado, UNIMET
Luis Fargier-Gabaldón	Profesor asociado de la Práctica; University of Notre Dame, EE. UU.
Ramón Mata-Lemus	Profesor asistente; Universidad San Sebastián, Chile
Valentina Páez	Universidad Central de Venezuela
Vicmarly Paredes	Estudiante de pregrado, UCAB
Wagdi Naime	Profesor de la Universidad Central de Venezuela; actual secretario general de la Sociedad Venezolana de Geotecnia

A las pocas horas de los terremotos en Venezuela, los miembros de ES2CALA (https://e2scala.ccee.ncsu.edu/), una comunidad financiada por la National Science Foundation para estudiantes y profesionales interesados en la ingeniería sísmica y/o la sismología, se pusieron

en contacto a través de un grupo de chat de WhatsApp para compartir fotos y vídeos de las redes sociales. Los miembros de ES2CALA incluyeron a 27 profesionales afiliados a instituciones académicas o a la industria y se enumeran en la Tabla 2-4. Estos miembros de ES2CALA compartieron datos e información relevantes de las redes sociales. Las principales fuentes fueron Instagram y X (antes Twitter), así como Reddit, YouTube, sitios web de noticias (p. ej., New York Times, NBC News), LinkedIn y comunicaciones personales compartidas dentro del grupo. Debido a la rápida difusión de las noticias en las redes sociales, esta información no siempre indicaba la ubicación o la naturaleza de las observaciones. A medida que el equipo remoto de GEER tuvo acceso a fotos y videos, se inició el proceso de georreferenciación de los datos mediante la identificación de nombres de calles, nombres de edificios residenciales u hoteles, restaurantes, gasolineras, centros comerciales y características distintivas del lugar, como la forma de las piscinas u otras, en Google Earth para determinar sus coordenadas. Siempre que fue posible, se usaron imágenes previas a los terremotos que estaban disponibles en Google Earth o Google Maps para generar un collage que mostrara imágenes de antes y después de los sismos. El resultado de este esfuerzo es una colección de fotos y figuras de antes y después de los terremotos, y un mapa de ubicación del sitio como se muestra en la Figura 2-3 hasta la Figura 2-9. La Figura 2-10 muestran con más detalle el edificio inclinado de la Figura 2-9. Esta recopilación de datos perecederos en un repositorio de medios que puede ser útil para investigaciones posteriores y se encuentra en Designsafe (https://www.designsafe-ci.org/).

Tabla 2-4. Lista de miembros del grupo de WhatsApp de ES2CALA y su afiliación (en orden alfabético)

Nombre	Afiliación
Adrian Rodríguez-Marek	Profesor; Virginia Tech, EE. UU.
Ashley Cartagena-Morales	Profesora; Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM), República Dominicana
Ashly Cabas	Profesora asociada; North Carolina State University
Carlos Englert	Ingeniero geoestructural sénior; GEI Consultants, EE. UU.
Celso Castro-Bolinaga	Profesor asociado; North Carolina State University
Catalina Yepes	Investigadora sénior; Global Earthquake Model Foundation, Pavía, Italia
Christine Beyzaei	Ingeniera civil; Amazon
David Barba Galdamez	Estudiante de posgrado; North Carolina State University
Eduardo Miranda	Profesor; Stanford University, EE. UU.
Emel Seyhan	Directora de Análisis y Modelado en Moody's RMS
Étienne Bertrand	Investigador científico sénior; Université Gustave Eiffel, Francia
F. Estefan García	Profesor adjunto; University of Michigan, EE. UU.
Luis Fabián Bonilla	Investigador; University Gustave Eiffel
Felipe Kuncar	Investigador postdoctoral; University of Canterbury, Nueva Zelanda

Nombre	Afiliación
Gonzalo Montalva	Profesor; Universidad de Concepción, Chile
Gabriel Toro	Lettis Consultants International, LLC
Alessandra Schibuola	Investigadora postdoctoral; Universidad de Trieste, Italia
Jesús Gómez	Vicepresidente sénior; GEI Consultants
Jenny Ramírez	Ingeniera geotécnica sénior, Geosyntec Consultants Inc.
Karol Sánchez	Investigadora de posgrado; North Carolina State University
Luis Fargier-Gabaldón	Profesor asociado de la Práctica, University of Notre Dame
Melanie Dickson	Investigadora de posgrado; North Carolina State University
Mervyn Kowalsky	Profesor; North Carolina State University
Pablo Heresi	Profesor asistente en la Universidad de Chile, Chile
Rodolfo Sancio	Vicepresidente de Operaciones, Geosyntec Consultants Inc.
Renmin Pretell	Profesor adjunto; University of Nevada Reno

El conjunto de imágenes recopiladas del grupo de WhatsApp E2SCALA se contrastó con la información disponible en la plataforma www.crisisvenezuela.org antes de compartirlo con el equipo de campo de GEER. Esta plataforma fue desarrollada por Martínez (2026) para agregar ygeolocalizar informes de daños estructurales de los terremotos de San Felipe y Catia La Mar del 24 de junio de 2026, utilizando prensa, redes sociales, fuentes oficiales y conjuntos de datos de aliados (p. ej., la New Zealand Society for Earthquake Engineering o NZSEE, SismoAyuda VE). Cada registro conserva sus fuentes citadas, el origen de sus coordenadas (explícitas o geocodificadas) y un índice de confianza según un modelo publicado y documentado (crisisvenezuela.org/docs/trust). La Figura 2-1 muestra la distribución espacial de los daños documentados. El catálogo se publica en formatos abiertos CSV, JSON y API, y se archiva con un

DOI citable (10.5281/zenodo.21154222), que permite identificar la versión actual del conjunto de datos.

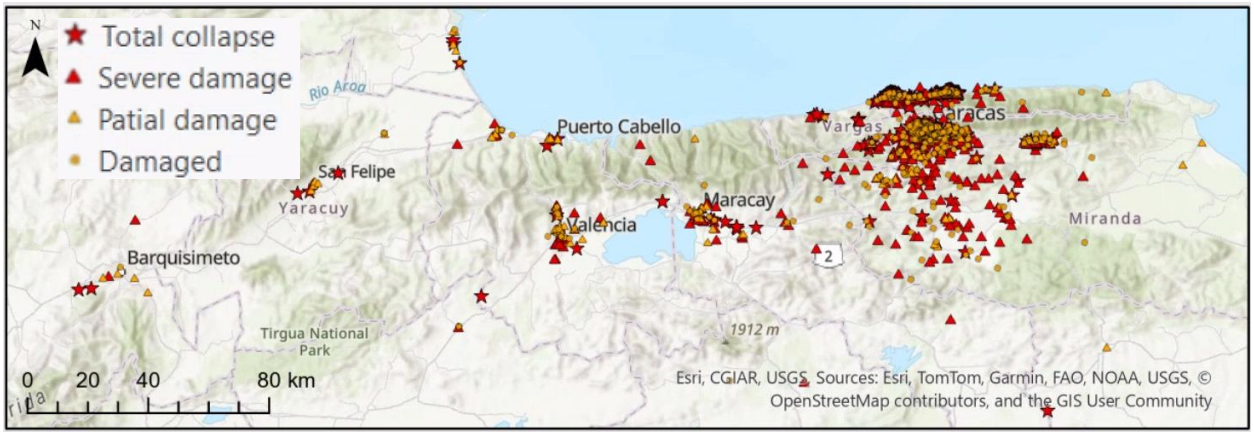


Figura 2-1. Daños documentados por crisisvenezuela.org mediante esfuerzos de colaboración ciudadana.

En los días posteriores a los terremotos, se difundió ampliamente información adicional en YouTube, canales de noticias y periódicos. De igual forma, el equipo remoto de GEER georreferenció y contrastó las fotografías y los vídeos provenientes de estas fuentes antes de enviarlos al equipo local. La Figura 2-3 hasta la Figura 2-19 muestran las imágenes recopiladas con las fotografías anteriores y posteriores a los terremotos y sus coordenadas. Al 8 de julio de 2026, la SVDG había compartido con el equipo remoto de GEER casi 2000 fotografías. Entre estas, se georeferenció y localizó un subconjunto de aproximadamente 159 fotografías representativas, que incluyen 19 sitios, utilizando Google Earth. La Figura 2-20 hasta la Figura 2-39 muestran las imágenes recopiladas con las fotografías anteriores y posteriores a los terremotos y los mapas del sitio en Google Earth. Los puntos de datos seleccionados, curados y georreferenciados, con las fotografías adjuntas a sus ubicaciones, se guardaron en formato Google Earth (archivo kmz) y se compartieron con el personal local en el terreno. Esta recopilación también está disponible en nuestro repositorio de datos en DesignSafe.

Los miembros del equipo de campo de GEER que figuran en las Tabla 2-3, junto con otros colaboradores, compartieron imágenes, videos y observaciones de campo de los lugares visitados, incluyendo coordenadas y puntos de referencia. El equipo remoto de GEER fue el responsable de recopilar, organizar y georreferenciar esta información. Los productos derivados de estos esfuerzos se utilizaron posteriormente para documentar e interpretar las observaciones y los patrones en las secciones subsiguientes de este informe.

La investigación de GEER se benefició enormemente de una amplia red de colaboración, como se puede ver en la Figura 2-2. Por ejemplo, establecimos excelentes alianzas con el USGS (en particular con su programa Landslides Hazard Program y con el Natural Hazards Mission Area), la NASA (a través de su Programa de Desastres) y el centro CLaSH, financiado por la NSF. Gracias a múltiples esfuerzos de coordinación, nuestro equipo ha tenido acceso a imágenes satelitales de alta resolución con el objetivo de comprender mejor los peligros que persisten en Venezuela debido a los terremotos y las lluvias. La comunidad sin fines de lucro, Global Earthquake Model (GEM, por sus siglas en inglés), elaboró análisis de riesgo para estos eventos,

los cuales compartió con nosotros de inmediato y se incluyen en este informe de GEER. Las empresas de consultoría en las que trabajan algunos miembros de nuestro equipo de GEER también pusieron a disposición algunos de sus productos, software y plataformas de forma gratuita para que el equipo los incorpore en nuestros análisis preliminares. El subcomité EERI-LFE, la New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE), la International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), así como los esfuerzos de colaboración ciudadana para mapear los daños en Venezuela (crisisvenezuela.org) también contribuyeron al éxito de esta misión de reconocimiento.

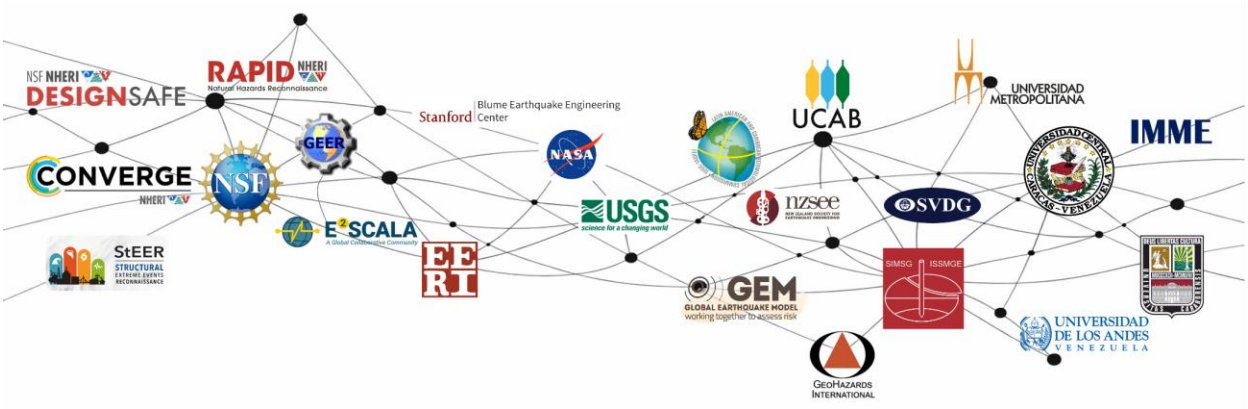


Figura 2-2. Red de colaboración que contribuye a la respuesta rápida luego de los terremotos de 2026 en Venezuela

La investigación de GEER también se facilitó gracias al inmenso trabajo de las siguientes entidades, que dedicaron muchas horas de forma voluntaria para apoyar con la recopilación de datos, con el suministro de equipos de campo esenciales, datos y acceso a numerosos lugares. A continuación, se resume la lista de entidades y el apoyo suministrado durante el primer mes posterior a los terremotos:

- Vicepresidencia Sectorial de Obras Públicas y Servicios
  - Acceso para el personal de GEER a instalaciones críticas, incluyendo puertos y el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar
  - Acceso y transporte para el personal de GEER para el reconocimiento de presas de escombros en El Ávila
  - Equipo de campo para el personal de GEER para documentar sondeos y Ensayos de Penetración Estándar (SPT) a través de la Fundación Laboratorio Nacional de Vialidad (FUNDALANAVIAL)
  - Imágenes de vehículos aéreos no tripulados (VANT), también conocidos como drones
- Cámara Venezolana de la Construcción (CVC)
  - Contactos invaluables con empresas locales que compartieron datos (imágenes y videos de UAV, también conocidos como drones, fotografías terrestres) y con el Gobierno venezolano.

- SVDG
  - Fotografías y videos de campo
- UCV
  - Ayuda de profesores y estudiantes
- UNIMET
  - Ayuda de profesores y estudiantes
- Inelectra
  - Mapas y documentación de los daños en la urbanización Hugo Chávez
  - Imágenes y vídeos de UAV (también conocido como dron)
- DATA DRONE, C.A. (Píxel de dron)
  - Fotografías aéreas tomadas días después de los terremotos. Los datos derivados de estas fotografías incluían nubes de puntos y DTM

2.1 Aspectos generales sobre el repositorio de datos de redes sociales y noticias

En esta sección ofrecemos una visión general sobre los tipos de daños observados en cada una de las zonas urbanas densamente pobladas que fueron objeto de investigación y recopilación (y posteriormente verificación) a partir de las redes sociales y otros medios de comunicación. En los capítulos siguientes, dedicados al funcionamiento de los sistemas de ingeniería y a la deformación del terreno, se ofrecen detalles adicionales y descripciones más amplias.

2.1.1 Caracas

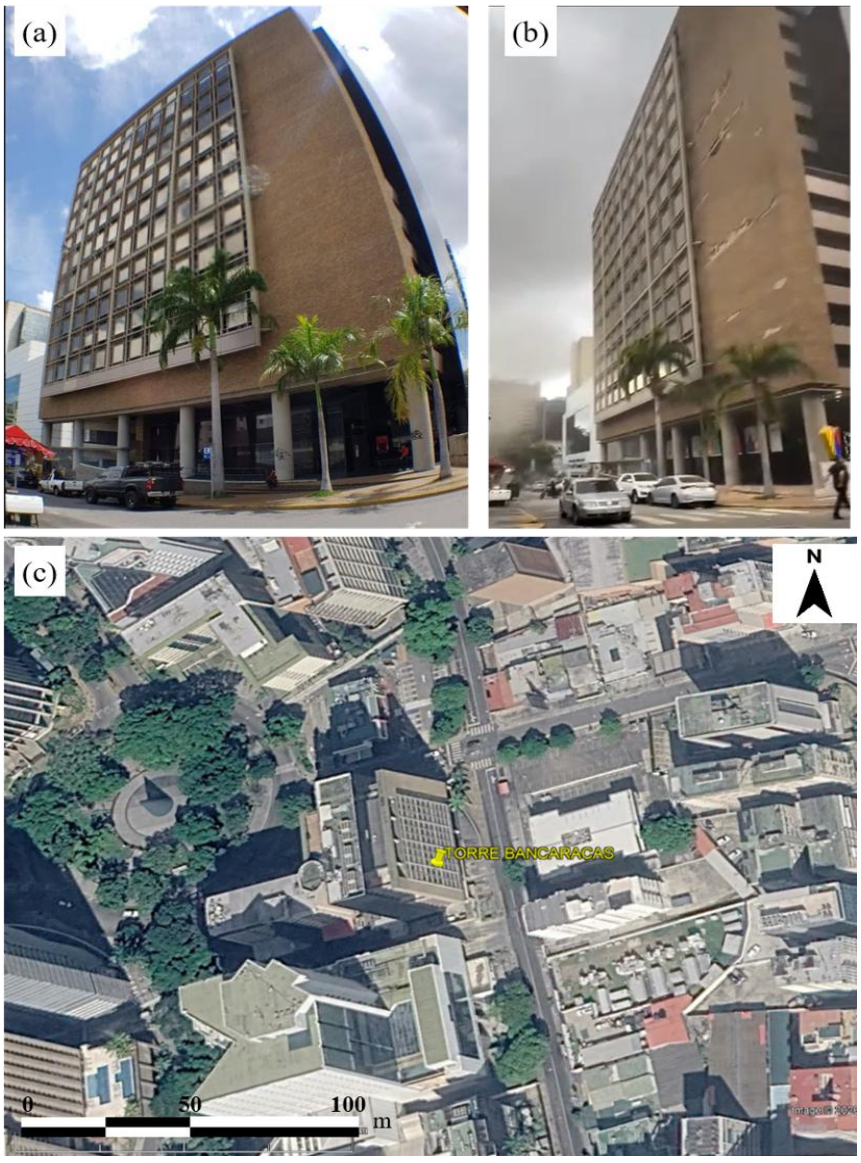


Figura 2-3. Torre Bancaracas, Los Palos Grandes, Miranda: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA; e

(c) Imágenes aéreas de Google Earth de fecha 3 de enero de 2026 (Coordenadas: 10.497611°, -66.850849°)



Figura 2-4. Edificio Rita (a) Mosaico fotográfico (proveniente de redes sociales, compartidas en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA) de edificios cercano a la intersección de la Avenida Los

Próceres y la Avenida Marqués del Toro, Caracas, después de los terremotos e (b) Imágenes aéreas de Google Earth de fecha 21 de diciembre de 2025 (Coordenadas: 10.514921°, -66.898304°)



Figura 2-5. Torre Petunia en Los Palos Grandes, Miranda: (a, b) Antes de los terremotos, de Google Earth; (c) Después de los terremotos, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA; e

(d) Imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 (Coordenadas: 10.498366°, -66.847556°)

2.1.2 La Guaira



Figura 2-6. Edificio de apartamentos inclinado en La Guaira, Venezuela. Ubicación (a) antes de los terremotos, (b) después de los terremotos, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de

E2SCALA, y (c) una vista aérea de Google Earth del 8 de mayo de 2026, edificio de referencia (con marcador rojo) en las coordenadas: 10.61055°, -67.010966°



Figura 2-7. Hotel Eduard´s (a) Antes de los terremotos; (b) Vista aérea del 5 de febrero de 2025 de Google Earth, coordenadas 10.605006°, −66.900661°; (c) Foto después de los terremotos proveniente de redes sociales, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA

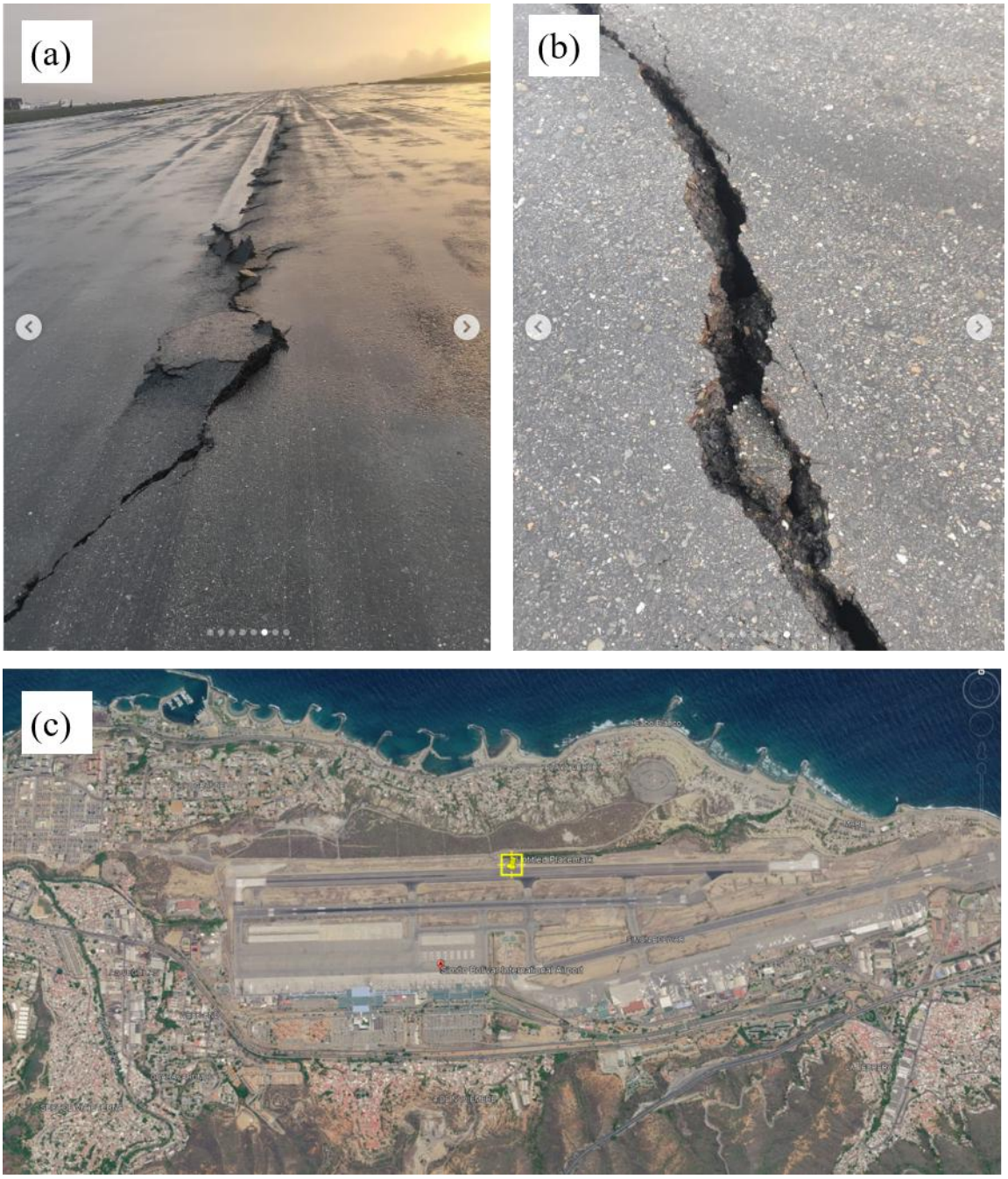


Figura 2-8. (a,b) Pavimento agrietado en el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar, La Guaira, con coordenadas aproximadas 10.604266°, −66.997822° y (c) vista aérea proveniente de redes sociales, compartida en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA. Google Earth, de fecha 8 de mayo de 2026



Figura 2-9. Residencias Los Delfines: (a) Después de los terremotos, marcado con un triángulo rojo en el mapa del sitio en 10.610009°, −67.025497°; (b) Después de los terremotos, marcado con un círculo rojo en el mapa del sitio en 10.610194°, −67.024792°; (c) Vista aérea de imágenes de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026. Las imágenes posteriores a los terremotos fueron tomadas de un video compartido en el grupo de chat de WhatsApp de E2SCALA

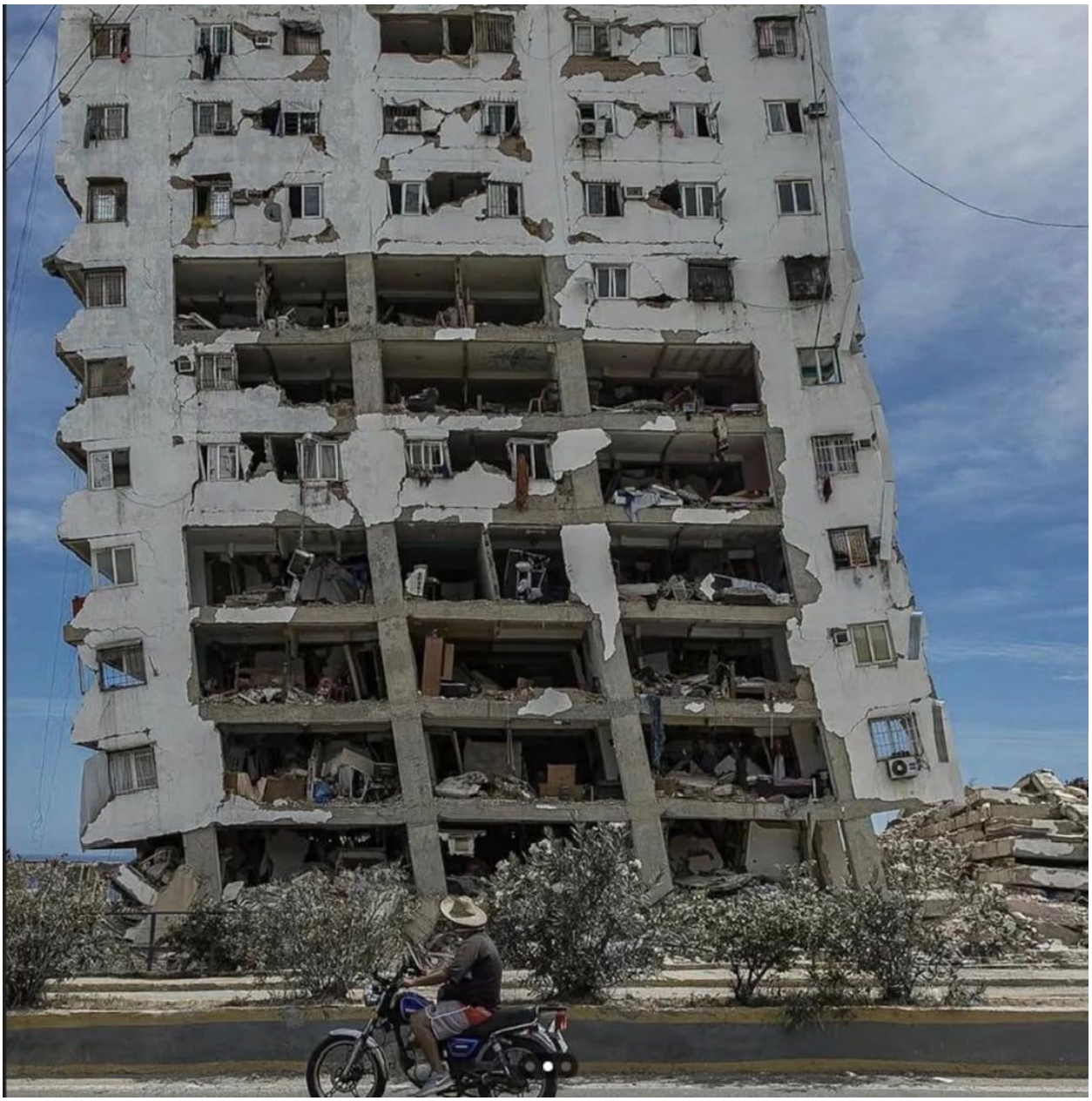


Figura 2-10. Edificio inclinado identificado en la Figura 2-9

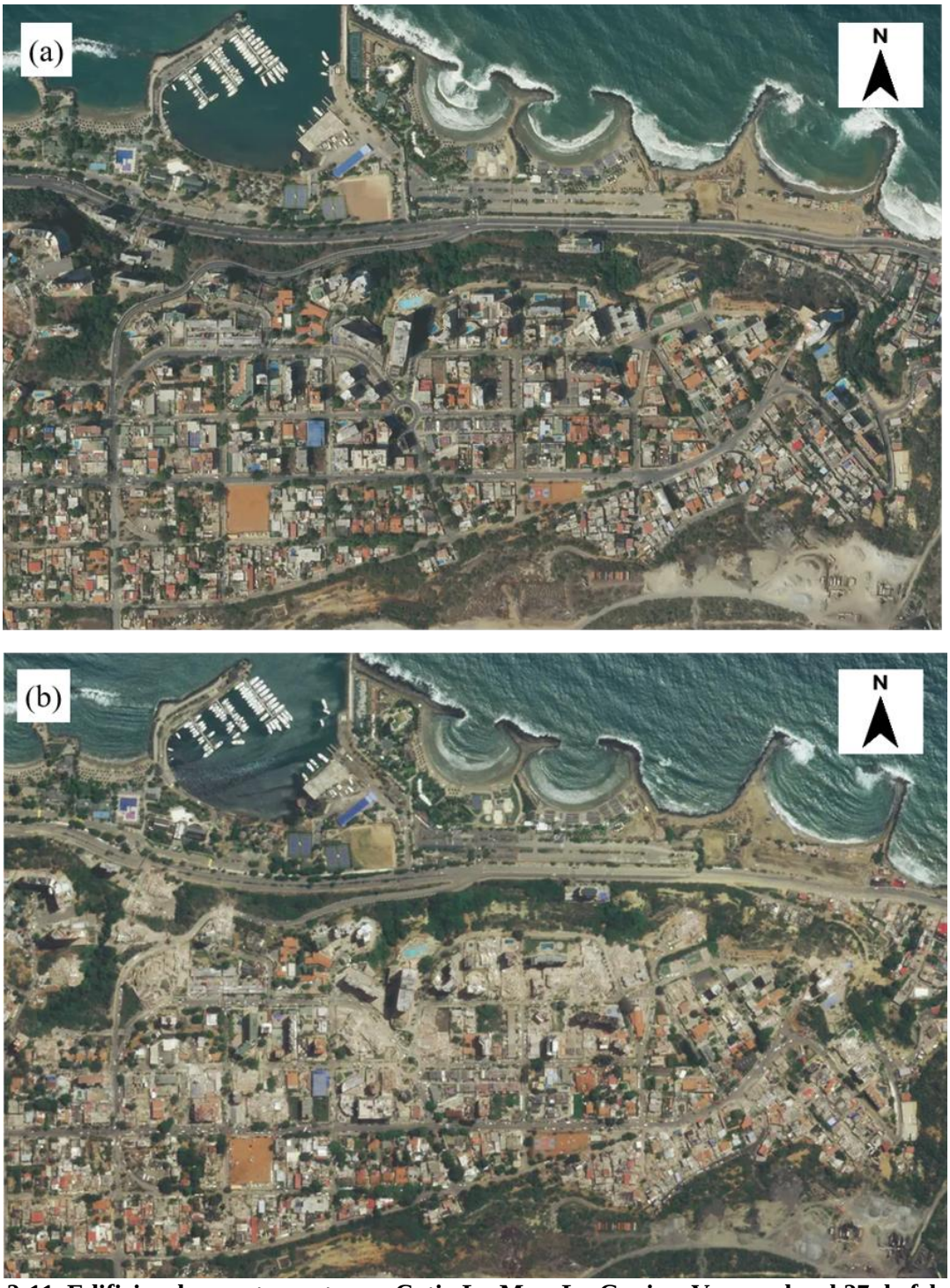


Figura 2-11. Edificios de apartamentos en Catia La Mar, La Guaira, Venezuela, el 27 de febrero de 2026 y el 26 de junio de 2026 (a) antes y (b) después de los terremotos. Imágenes satelitales que muestran la magnitud de la devastación en Venezuela luego de dos terremotos, publicadas por NBC News, sitio web: https://www.nbcnews.com/world/venezuela/satellite-images-show-scope-devastation-venezuela-dual-earthquakes-rcna352017



Figura 2-12. Edificio de apartamentos en La Guaira, Venezuela, el (a) 22 de junio, antes de los terremotos y el (b) 25 de junio después de los terremotos. Imágenes satelitales muestran el alcance de la devastación en Venezuela después de dos terremotos por NBC News, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=0_ORDDBX78A. Coordenadas de la esquina sureste de la cuadra: 10.6105°, -67.0115°

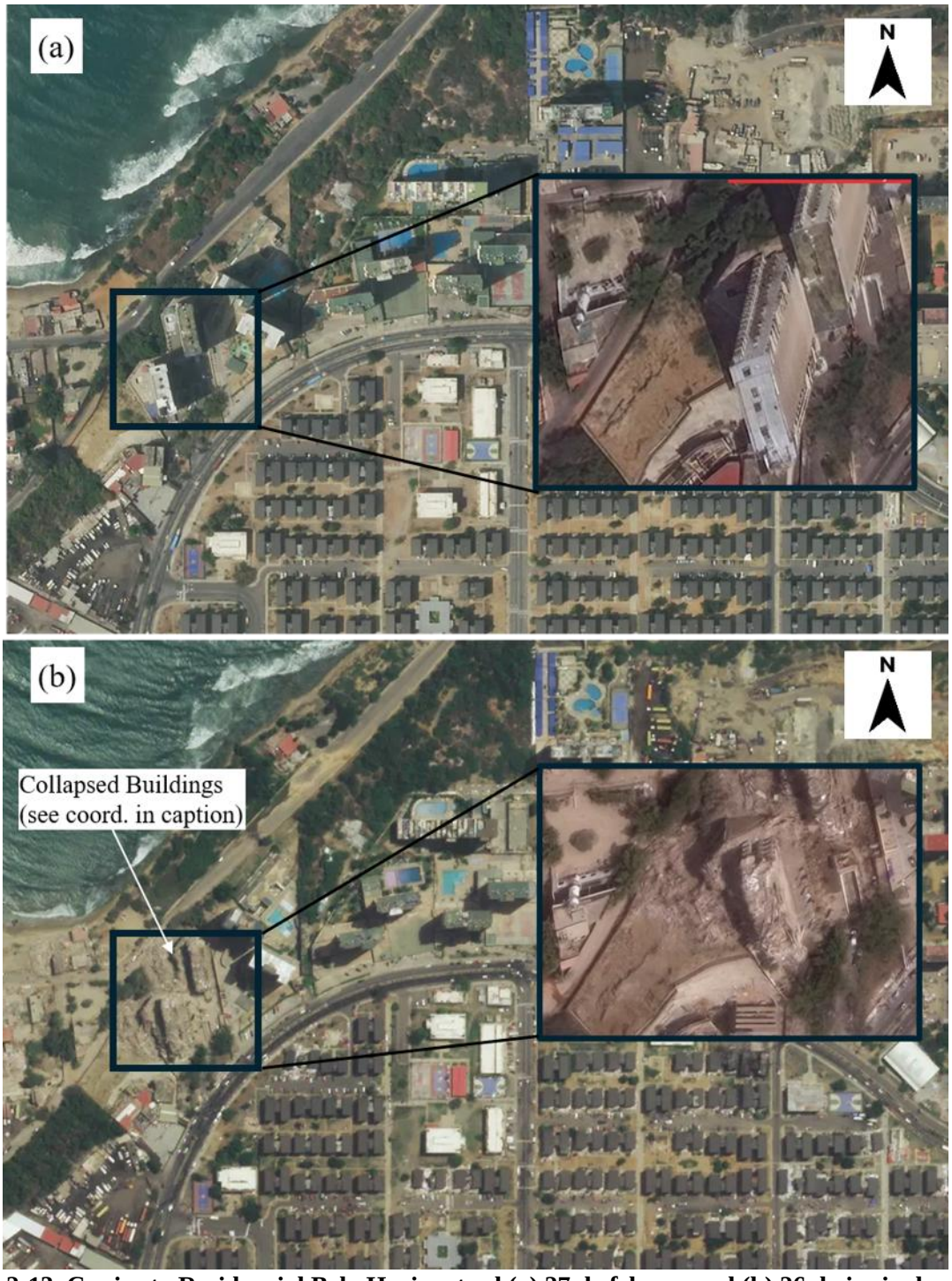


Figura 2-13. Conjunto Residencial Belo Horizonte el (a) 27 de febrero y el (b) 26 de junio después de los terremotos (Imágenes satelitales muestran el alcance de la devastación en Venezuela después de los dos terremotos por NBC News, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=0_ORDDBX78A). Coordenadas 10.60966, −67.026897

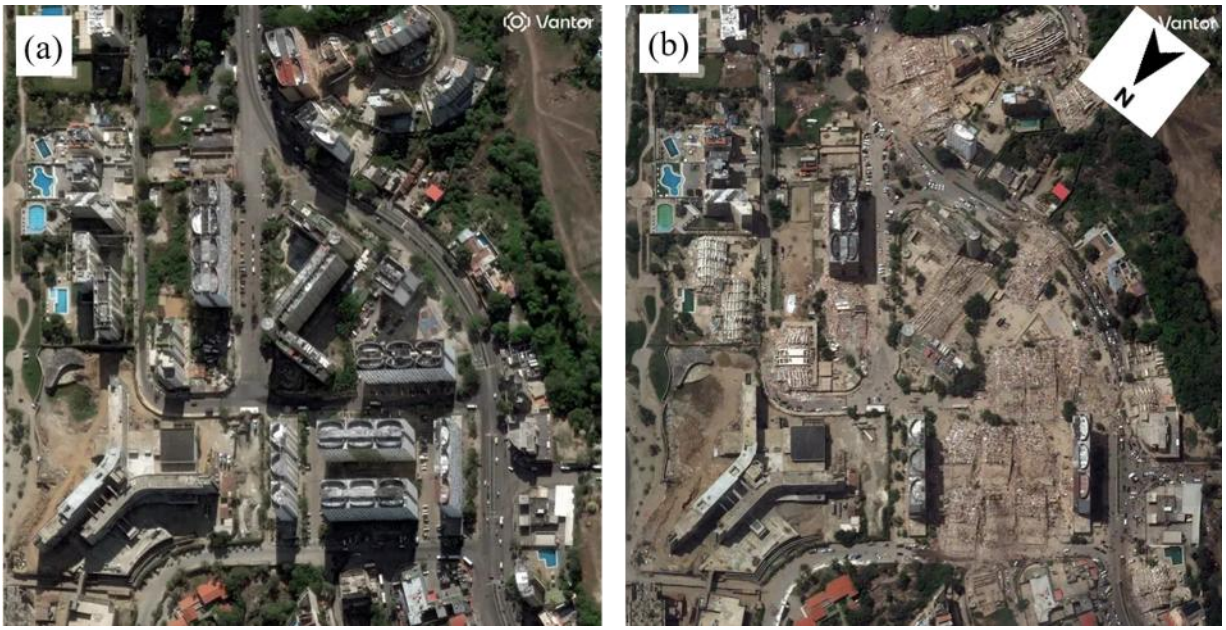


Figura 2-14. Edificio de apartamentos en Caraballeda, La Guaira el (a) 28 de diciembre y el (b) 26 de junio después de los terremotos (Ref.: Imágenes satelitales muestran la magnitud de la devastación en Venezuela después de los dos terremotos, según NBC News (sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=0_ORDDBX78A). Coordenadas del edificio en forma de L: 10.614721°, −66.839135°)



Figura 2-15. Edificio desconocido (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024; (b y c) Después de los terremotos informados por Fox News ()https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=venezuela%20earthquake&mid=FC0431836BA833B16A10FC0431836BA833B16A10&ajaxhist=0 El edificio con coordenadas 10.617879°, −66.856783° está identificado con un triángulo rojo en cada imagen



Figura 2-16. Residencias Coral Beach en Playa Puerto Viejo, La Guaira: (a) Antes del terremoto, a partir de imágenes de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 y (b) Después del terremoto proveniente de YouTube. (10.617927°, -66.854617°)



Figura 2-17. Residencia Nautilus, La Guaira: (a) Antes del terremoto, proveniente de imágenes de Google Earth de fecha 18 de mayo de 2026 y (b) Después del terremoto proveniente de YouTube, publicada por CNN Español, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=3hSnUZuDLm4. (Coordenadas del edificio caído: 10.613174°, -67.022818°)

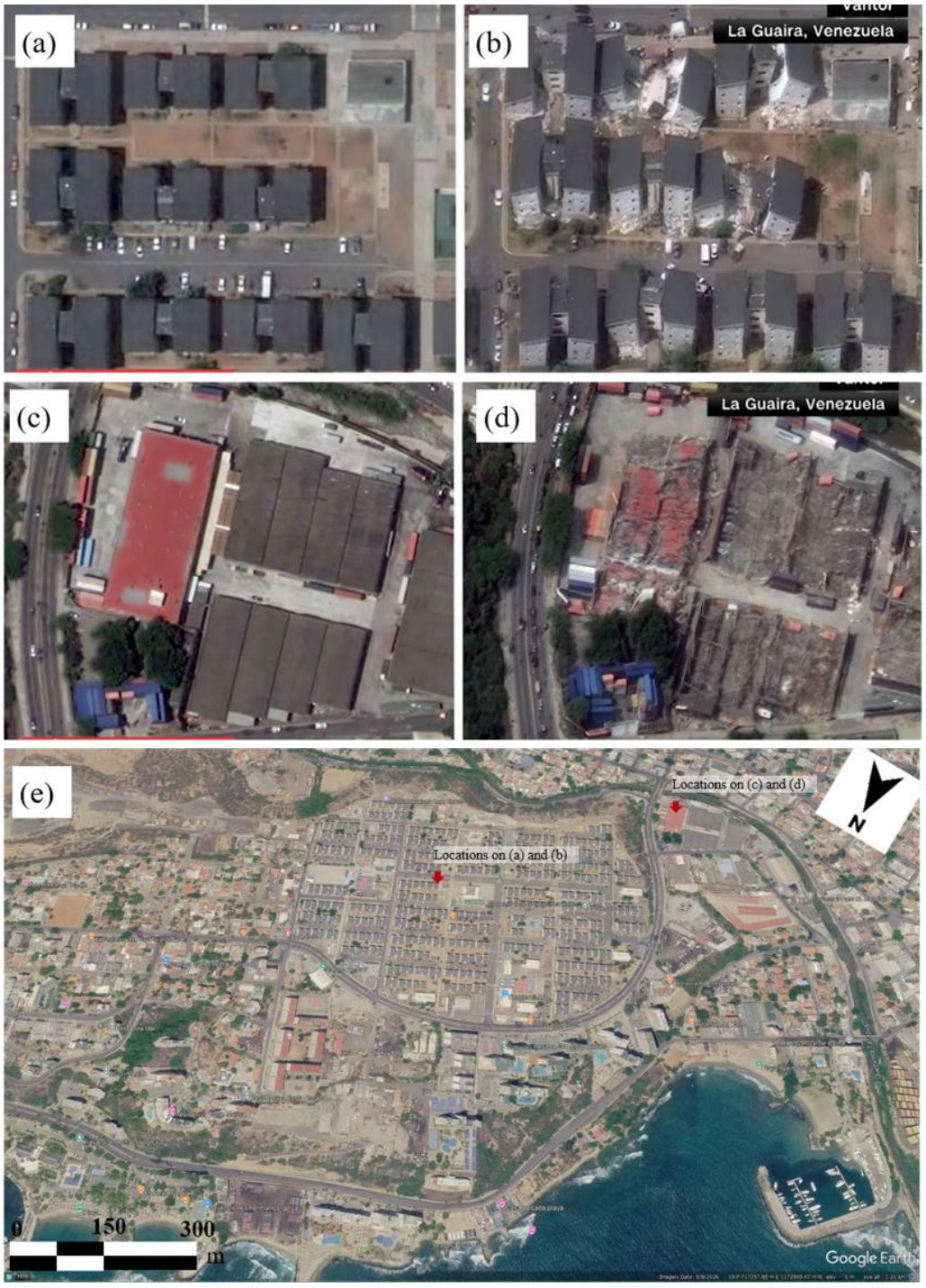


Figura 2-18. Edificios residenciales en La Guaira: (a) Antes del terremoto, proveniente de imágenes de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026 y (b) Después del terremoto, proveniente de YouTube, publicada por CNN Español (sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=3hSnUZuDLm4) que muestra edificios inclinados en coordenadas 10.607062°, −67.022638°. Lugares cercanos: (c) Antes y (d) Después del terremoto, mostrando edificios derrumbados en coordenadas 10.604969°, −67.027677°)



Figura 2-19. Comparación de vuelos (a) Antes y (b) Después del terremoto, proveniente de YouTube, publicado por CNN Español, sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=3hSnUZuDLm4. (Coordenadas de la redoma: 10609240°, -67,013953°)

2.2 Resumen de la evidencia fotográfica recopilada por la SVDG en La Guaira

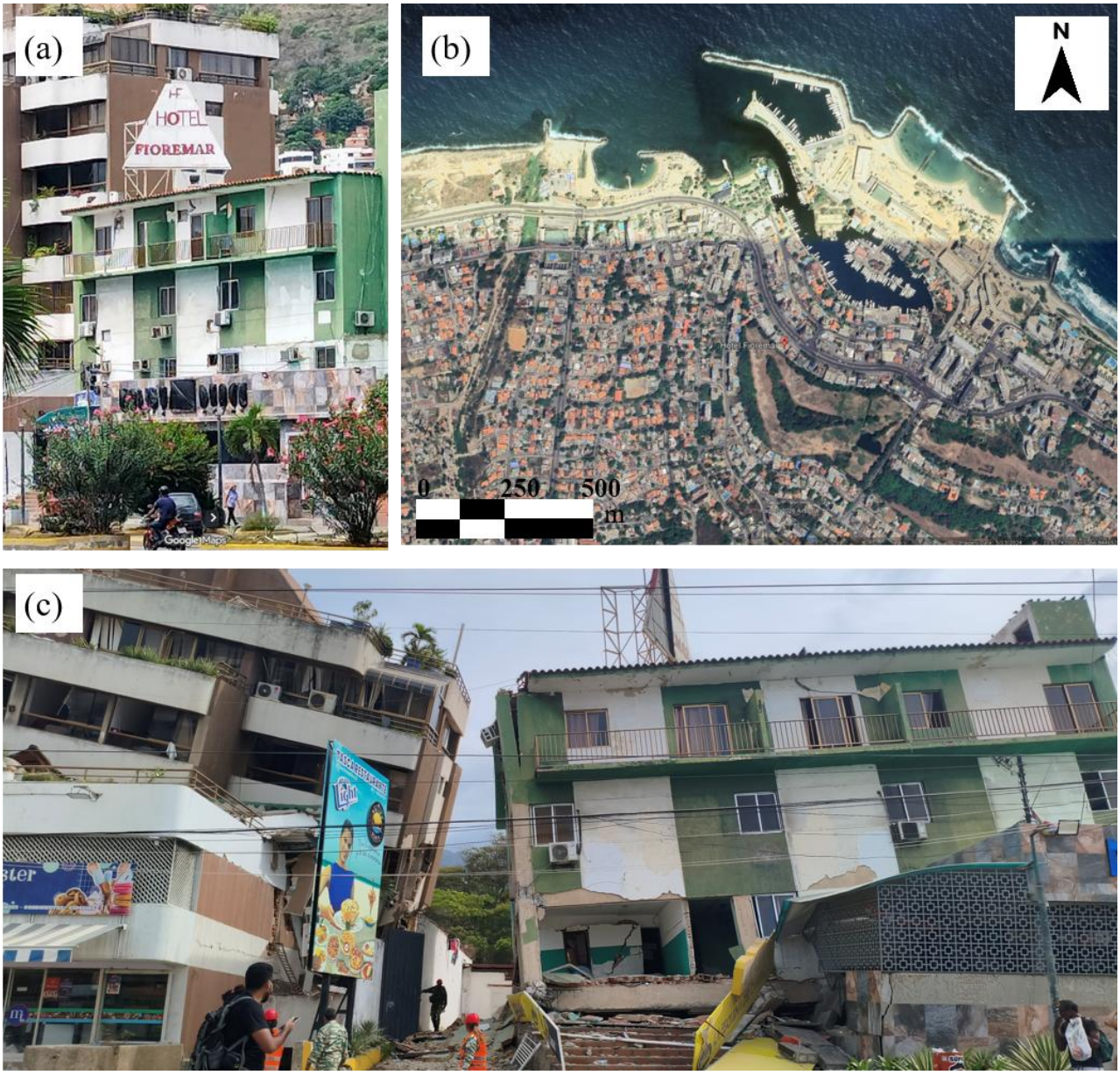


Figura 2-20. Hotel Fioremar (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 (10.615479°, −66.844534°); (b, c) después de los terremotos. Fuente: SVDG



Figura 2-21. Bahía de los Niños (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024 (10.614823°, −66.862014°); (b,c) después de los terremotos. Fuente: SVDG



Figura 2-22. (a,b) Bahía de los Niños. Fuente: SVDG

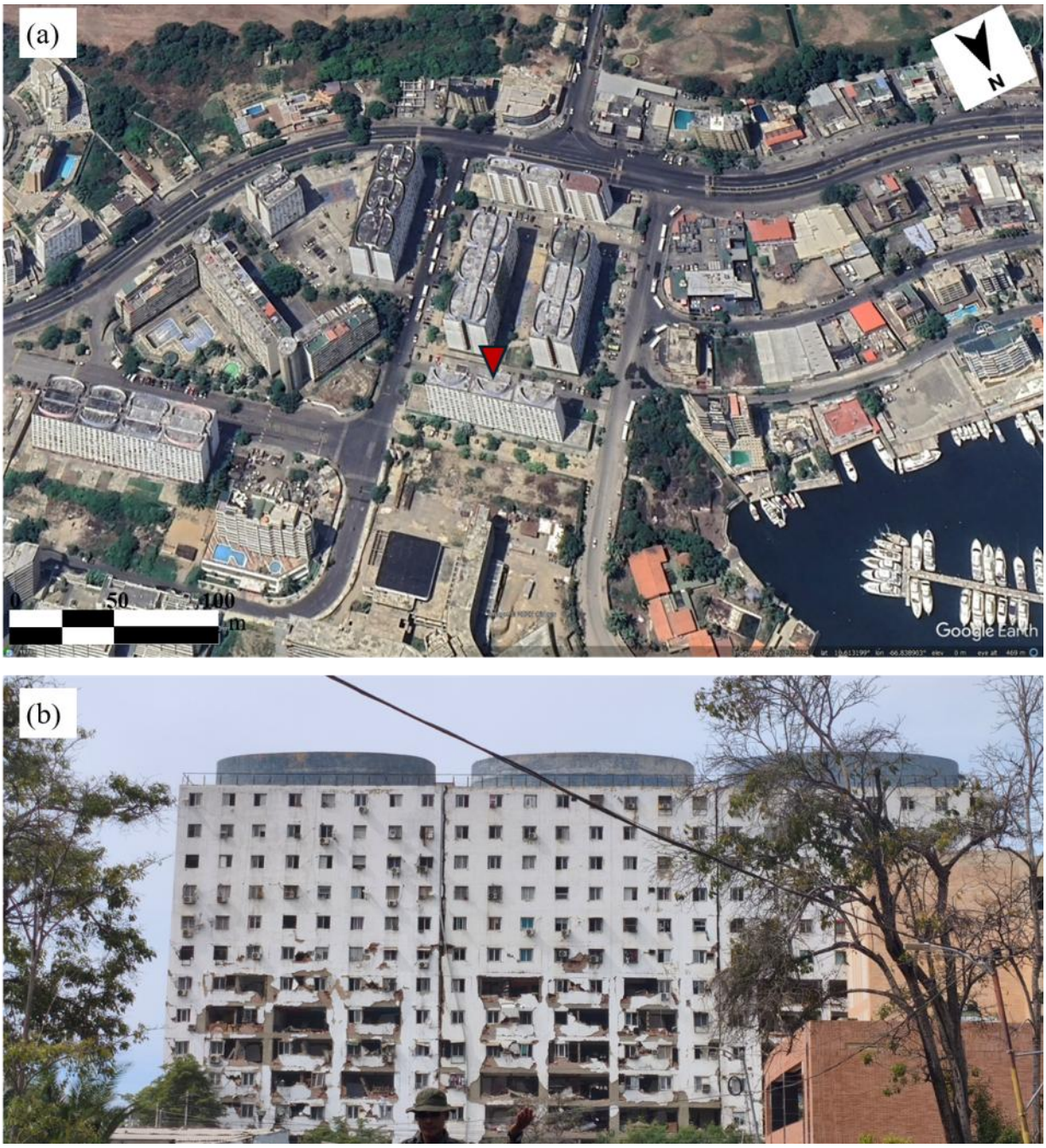


Figura 2-23. Torres El Caribe Misión Vivienda (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación aproximada 10.615379°, −66.840113°, y (b) después de los terremotos. Fuente: SVDG



Figura 2-24. Centro Comercial Costa del Sol (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.618215°, −66.845968°, y (b) después de los terremotos. Se añadió un triángulo rojo como marcador en el centro comercial a modo de referencia. Fuente: SVDG

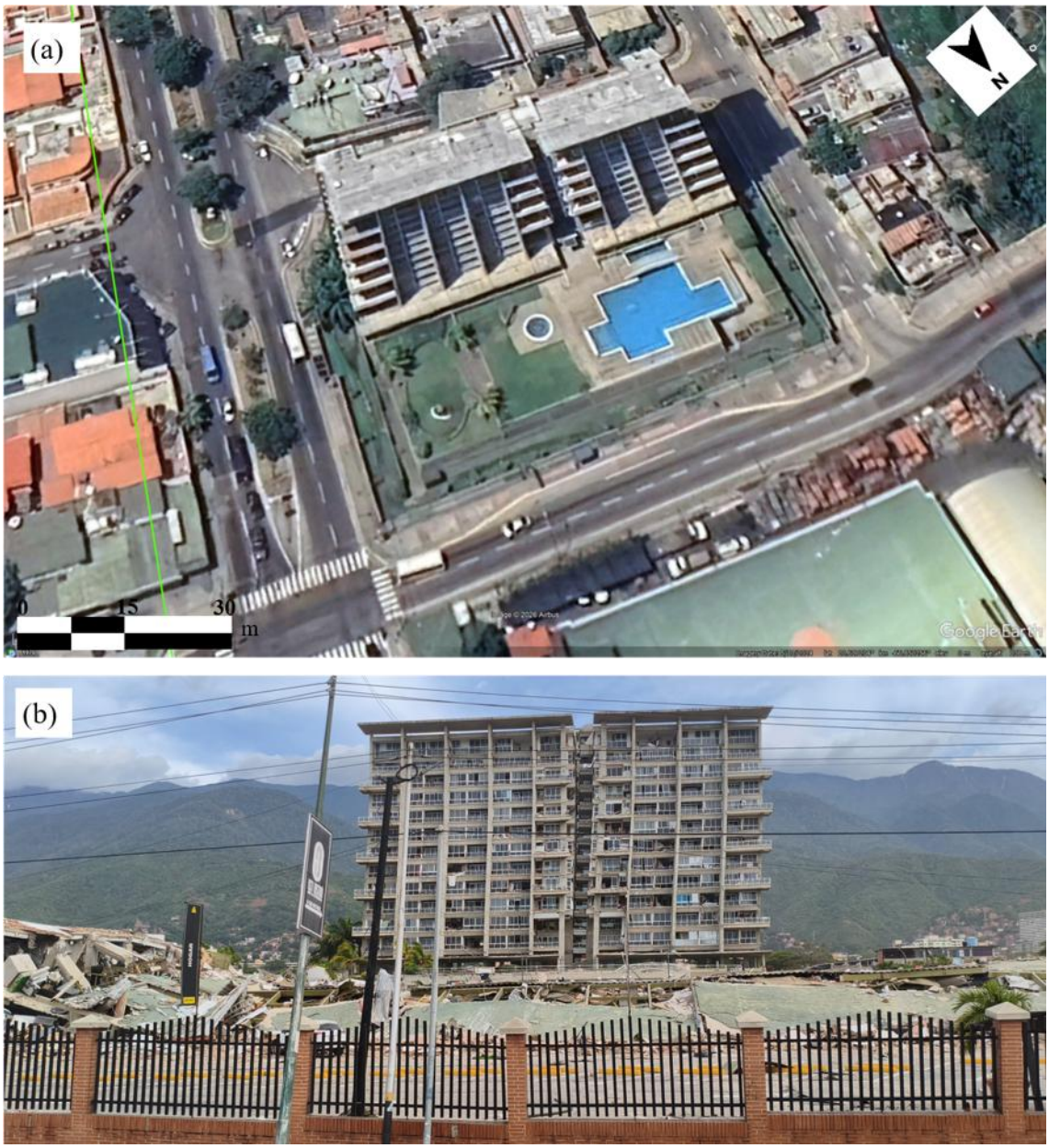


Figura 2-25. Residencias Costa Bella (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.617858°, −66.850622° y (b) después de los terremotos. Fuente: SVDG

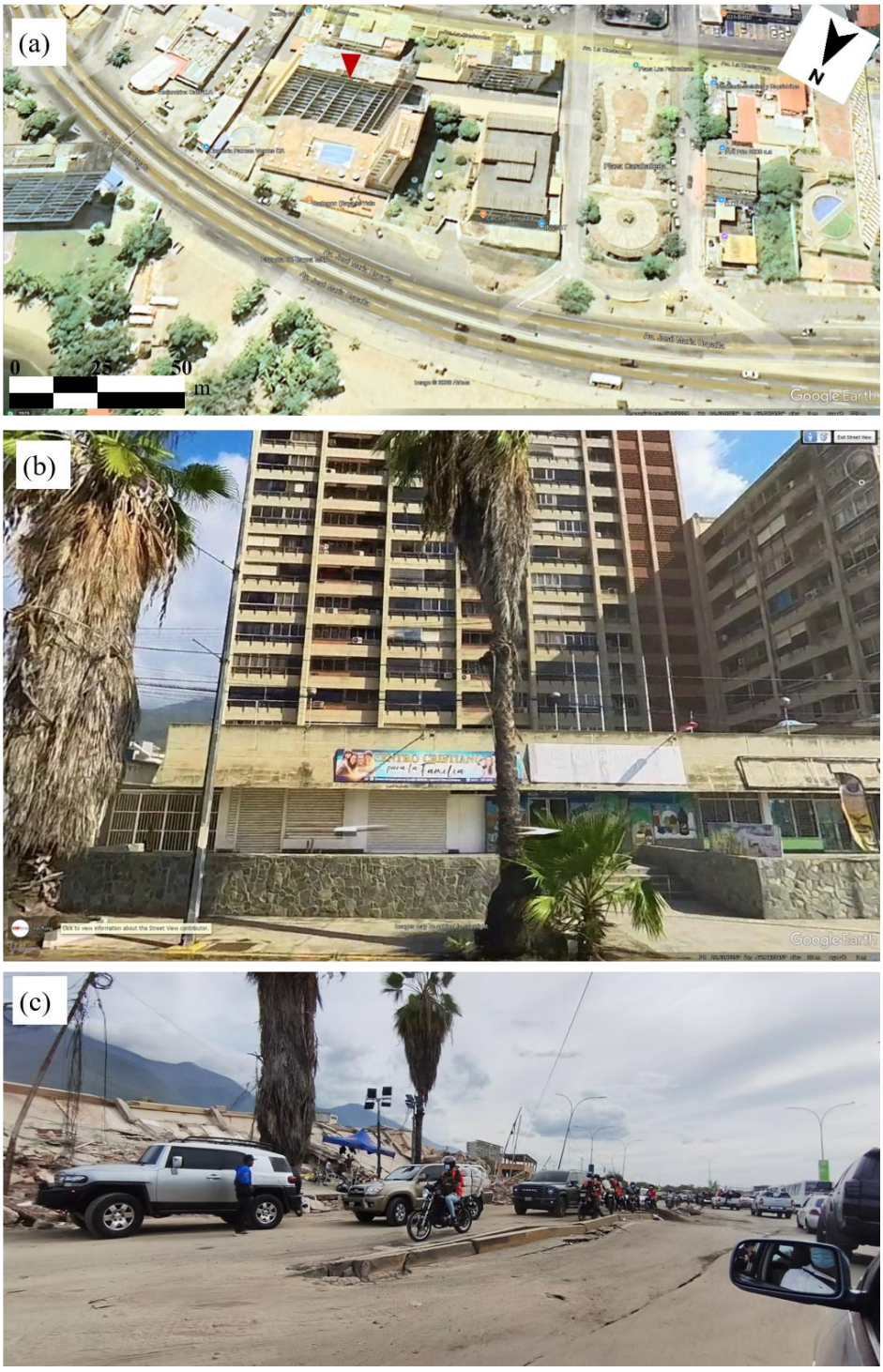


Figura 2-26. A lo largo de la Avenida José María España, mirando hacia el Bodegón Playa el Yate (a,b) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.619220°, −66.847192° y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG



Figura 2-27. Edificio Residencias Vistamar, a lo largo de la Avenida José María España (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.618783°, −66.848646° y (b) después de los terremotos. Fuente: SVDG



Figura 2-28. Residencia Mariola (a) Antes de los terremotos según Google Earth desde la Avenida Costanera, de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.618516°, −66.847591° (b) Antes de los terremotos desde la Avenida José María España y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG



Figura 2-29. Desprendimiento lateral inducido por licuación a lo largo de la Av. José María España, esquina este del centro comercial Doña Bárbara (a) Antes de los terremotos, según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.619014°, −66.851115° y (b) Antes de los terremotos, vista hacia el oeste, y (c) después de los terremotos, vista hacia el oeste. Fuente: SVDG



Figura 2-30. (a) Antes y (b,c) después de los terremotos en las afueras del centro comercial Doña Bárbara. Coordenadas: 10.618944°, -66.850752°. Fuente: SVDG

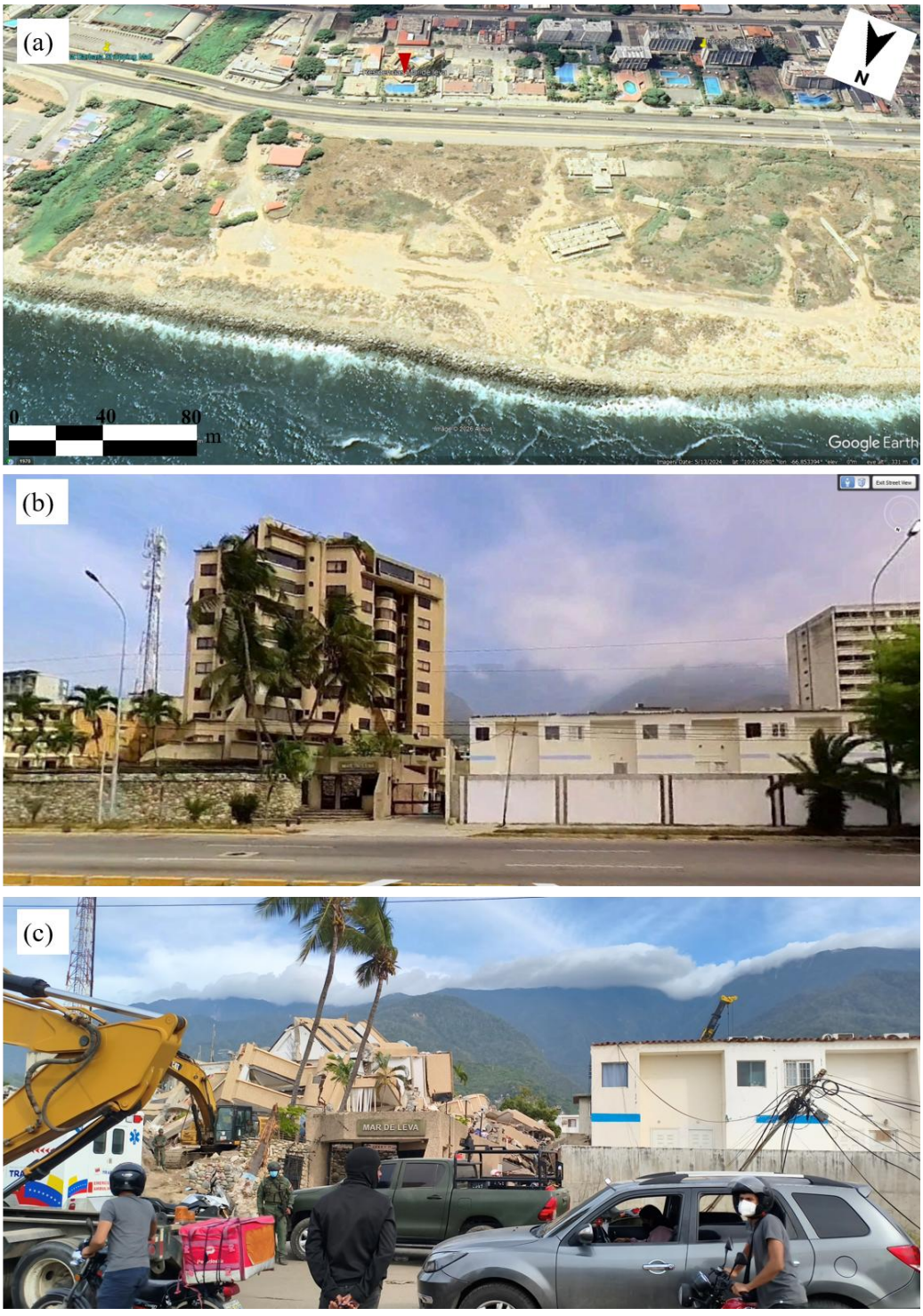


Figura 2-31. Residencias Mar de Leva (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 30 de abril de 2024, ubicación 10.618594°, −66.852742° y (b) Antes de los terremotos, vista hacia el sur, y (c) después de los terremotos, vista hacia el sur. Fuente: SVDG



Figura 2-32. Residencias Auromar (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.614899°, −66.836234°, (b) proveniente de Google Earth, desde la calle La Plata, y (c) después de los terremotos desde la misma calle. Fuente: SVDG

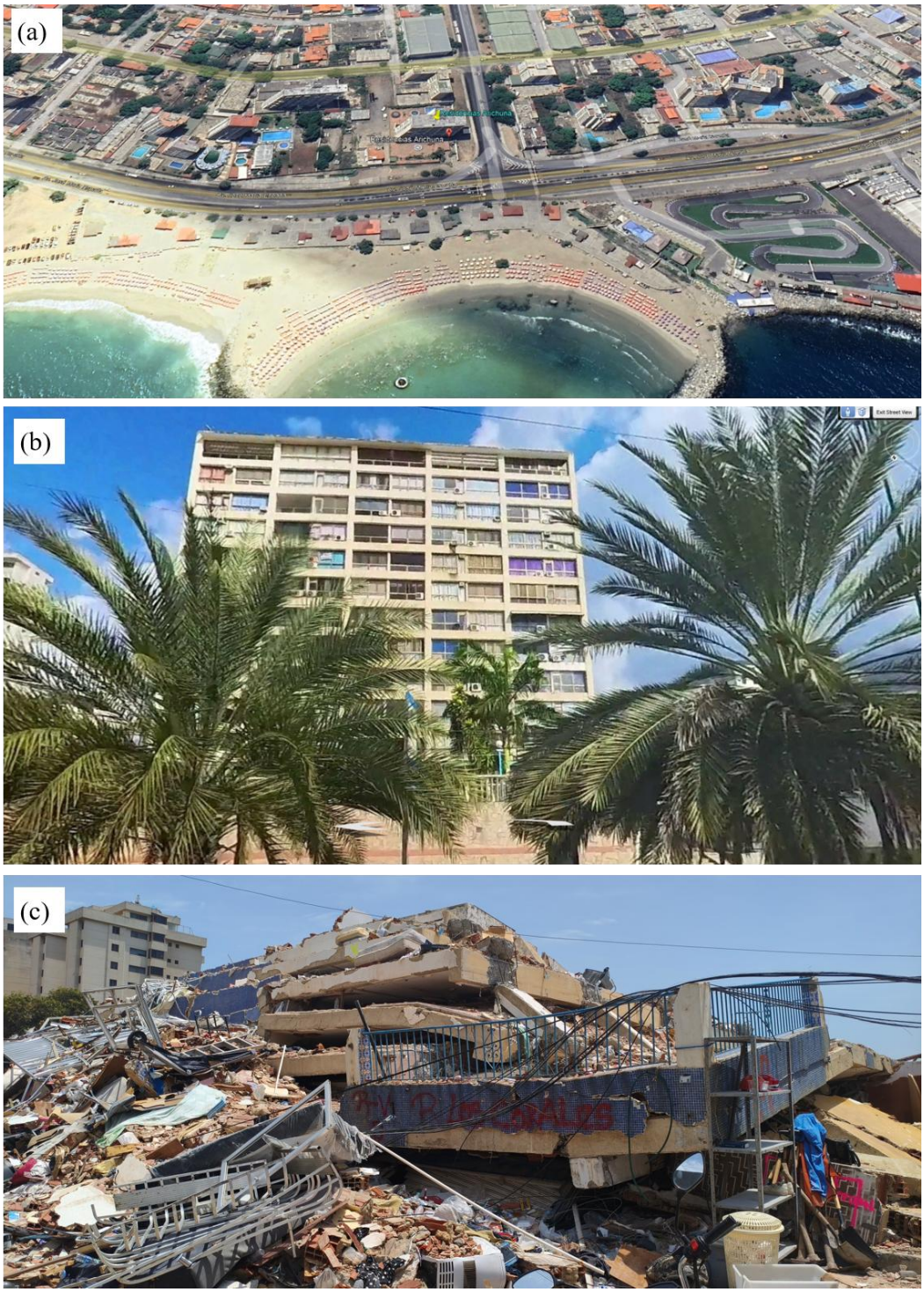


Figura 2-33. Residencias Airchuna (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.616960°, -66.857965° ,(b) proveniente de Google Earth, antes del terremoto, y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG

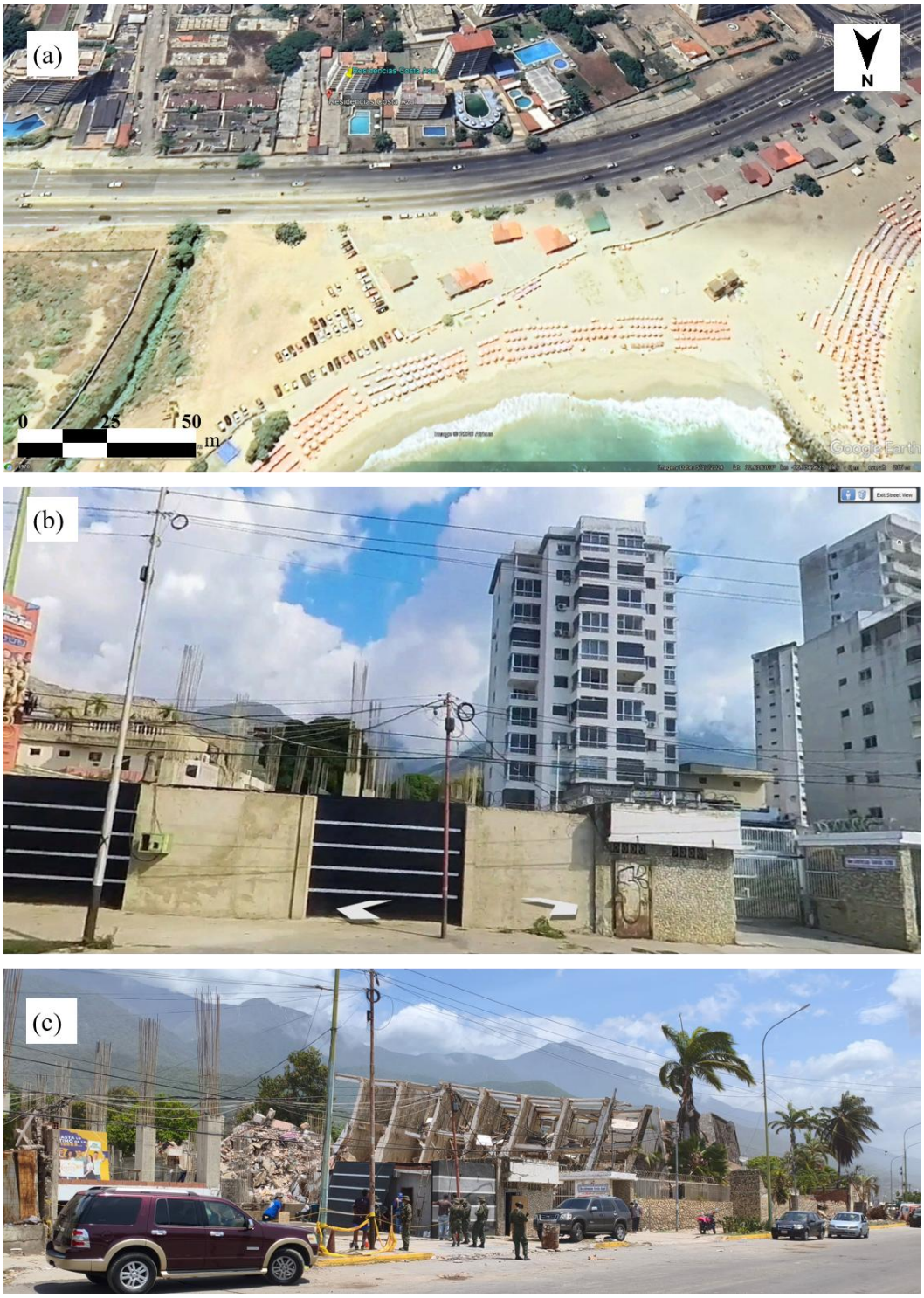


Figura 2-34. Residencias Costa Azul (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 13 de mayo de 2024, ubicación 10.617851°, −66.856446° (b) provenientes de Google Earth, antes de los terremotos, y (c) después de los terremotos. Fuente: SVDG



Figura 2-35. Muro de contención anclado cerca del edificio El Jurel (a) Antes de los terremotos según imágenes aéreas de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026, ubicación 10.610197°, −67.008568° (b,c) imágenes después del terremoto. Fuente: SVDG



Figura 2-36. (a,b,c) Marina de Caraballeda, coordenadas 10.619951°, −66.843447°. Fuente: SVDG

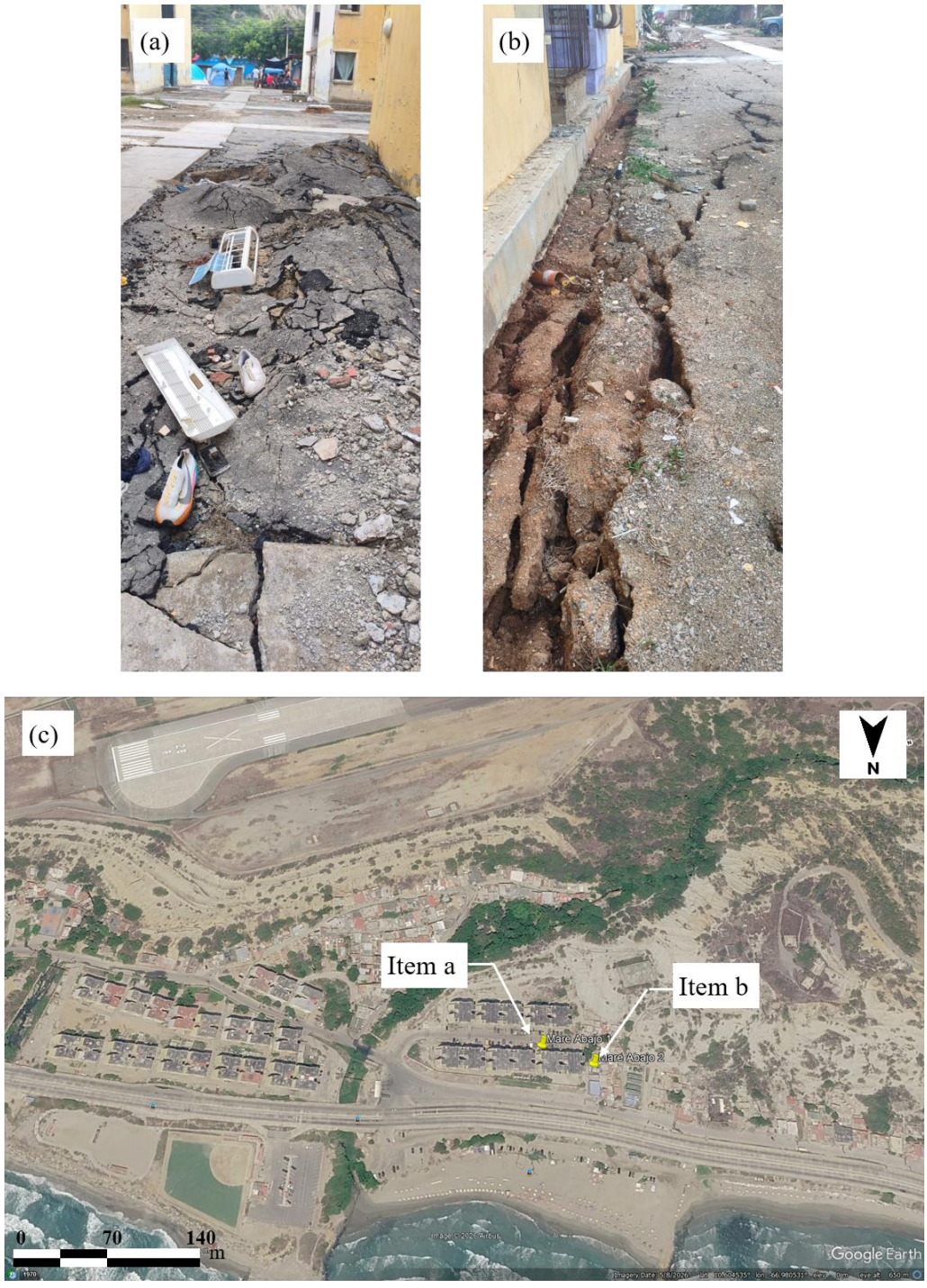


Figura 2-37. (a,b) Falla del terreno cerca de edificios de cuatro pisos ubicados en el área de Mare Abajo, coordenadas 10.608454°, -66.983710° y 10.608705°, −66.984050°, (c) Vista aérea tomada de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026 con una ubicación aproximada de las imágenes en los elementos a y b. Fuente: SVDG



Figura 2-38. (a) Falla de la carretera a lo largo de la calle José María Vargas, coordenadas aproximadas 10.610380°, −66.996350° (b) Vista aérea tomada de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026. Fuente: SVDG



Figura 2-39. (a) Falla de la carretera a lo largo de la calle José María Vargas, aproximadamente 500 m al oeste de la entrada del puerto, coordenadas 10.604193°, −66.966580° (b) Vista aérea tomada de Google Earth de fecha 8 de mayo de 2026. Fuente: SVDG

2.3 Investigación del subsuelo: pozos de sondeo y ensayos de laboratorio

Entre el 10 y el 23 de julio de 2026, FUNDALANAVIAL (Fundación Laboratorio Nacional de Vialidad, institución del gobierno venezolano vinculada al Ministerio de Obras Públicas) llevó a cabo una investigación limitada del subsuelo en la Urbanización Hugo Chávez. Francisco Pinto, del equipo de campo de GEER (fase I), estuvo presente mientras se avanzaba con algunas de las perforaciones.

El estudio incluyó el avance de cinco (5) perforaciones a una profundidad máxima de 5 metros (m) por debajo de la superficie del suelo y la ejecución de pruebas SPT en campo y análisis de laboratorio que incluían pruebas de contenido de humedad, distribución granulométrica y gravedad específica. Según se informó, todas las pruebas se hicieron de acuerdo con las normas ASTM. La Figura 2-40 muestra la ubicación de las exploraciones.



Figura 2-40. Lugares de exploración en el Urbanismo Hugo Chávez

Los materiales encontrados fueron arenas limosas (SM según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, USCS) y limos arenosos (ML) con una resistencia a la penetración del SPT entre media y muy alta (14 – 83 golpes/30 cm). En ninguna de las exploraciones se encontró agua subterránea. La Figura 2-41 muestra un ejemplo del material recogido en el muestreador para SPT.



Figura 2-41. Ejemplo de muestreador de tubo partido para SPT y material encontrado

2.4 Operaciones de vuelo de drones y datos a é reos

Como parte de las actividades de levantamiento, se hicieron estudios con UAV sobre la Urbanización Hugo Chávez. Los vuelos fueron realizados por Obras Públicas el 9 de julio de 2026 y se centraron principalmente en la documentación de edificios; actualmente se está revisando su utilidad desde una perspectiva geotécnica. En la Figura 2-42 se muestra una imagen de ejemplo de los vuelos de drones en esta zona.



Figura 2-42. Desprendimiento de taludes en el borde del terraplén del Urbanismo Hugo Chávez

El equipo de GEER también recibió fotografías aéreas a mayor altitud de las siguientes zonas:

- Playa Grande[2] (Figura 2-43)
- Caraballeda[3] (Figura 2-44)
- Macuto[4] (Figura 2-45)
- Catia La Mar[5] (Figura 2-46)
- Tanaguarena[6] (Figura 2-47)

[2] Dirección Conjunta de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DICGECAFANB). Procesamiento técnico, modelado 3D y análisis geoespacial realizado por DATA DRONE, C.A. (Píxel de dron) en alianza con ESRI. Información de uso restringido, autorizada exclusivamente para el apoyo táctico de cuerpos de rescate, Protección Civil y autoridades competentes. Fecha del vuelo 28/06/2026

[3] Dirección Conjunta de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DICGECAFANB)

[4] Dirección Conjunta de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DICGECAFANB). Procesamiento técnico, modelado 3D y análisis geoespacial realizado por DATA DRONE, C.A. (Píxel de dron) en alianza con ESRI. Información de uso restringido, autorizada exclusivamente para el apoyo táctico de cuerpos de rescate, Protección Civil y autoridades competentes. Fecha de los vuelos 01 y 03/07/2026

[5] Dirección Conjunta de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DICGECAFANB). Procesamiento técnico, modelado 3D y análisis geoespacial realizado por DATA DRONE, C.A. (Píxel de dron) en alianza con ESRI. Información de uso restringido, autorizada exclusivamente para el apoyo táctico de cuerpos de rescate, Protección Civil y autoridades competentes. Fecha del vuelo 29/06/2026

[6] Dirección Conjunta de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DICGECAFANB). Procesamiento técnico, modelado 3D y análisis geoespacial realizado por DATA DRONE, C.A. (Píxel de dron) en

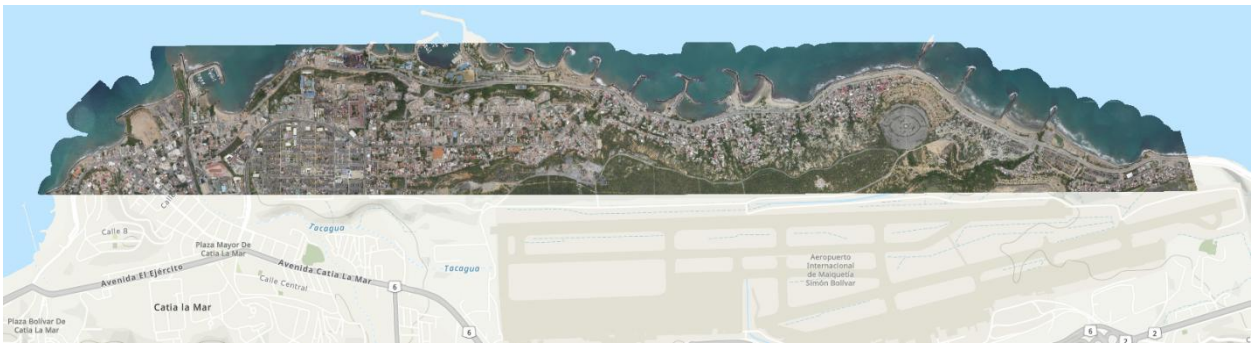


Figura 2-43. Alcance de las imágenes de drones en el área de Playa Grande

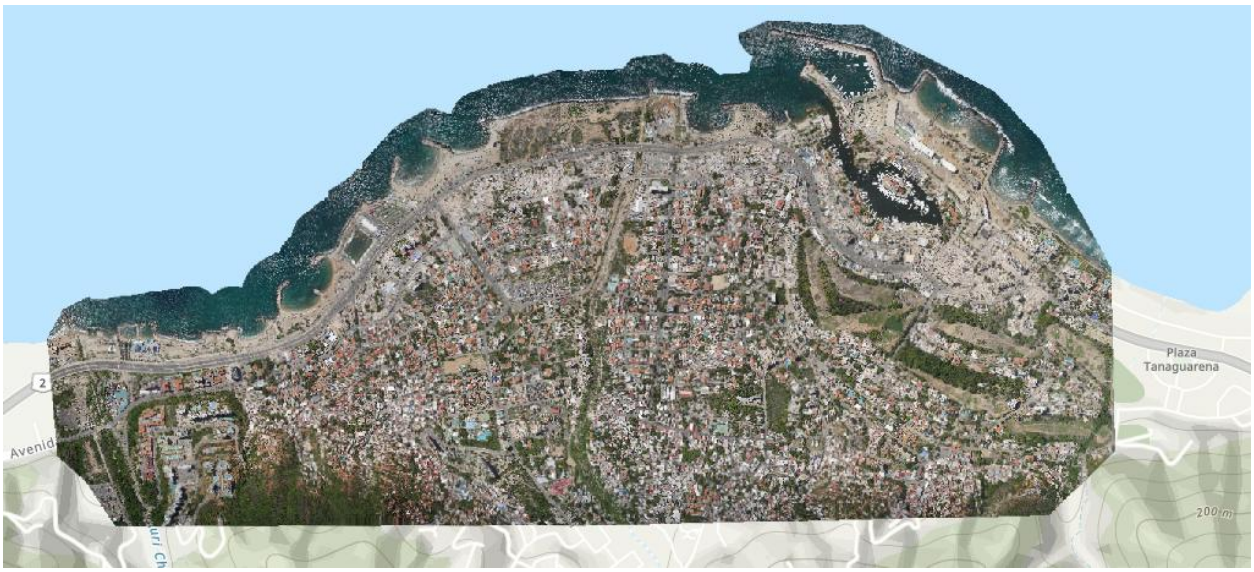


Figura 2-44. Alcance de las imágenes de drones en el área de Caraballeda

alianza con ESRI. Información de uso restringido, autorizada exclusivamente para el apoyo táctico de cuerpos de rescate, Protección Civil y autoridades competentes. Vuelo 30/06/2026



Figura 2-45. Alcance de las imágenes de drones en el área de Macuto



Figura 2-46. Alcance de las imágenes de drones para el área de Catia La Mar



Figura 2-47. Alcance de las imágenes de drones en el área de Tanaguarena

Las siguientes ubicaciones también incluyeron levantamientos aéreos detallados adicionales:

- Carretera detrás del edificio El Jurel [7] (Figura 2-48)
- Edificio Torre Marina[8] (Figura 2-48 y Figura 2-49)

[7] Dirección Conjunta de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (DICGECAFANB). Procesamiento técnico, modelado 3D y análisis geoespacial realizado por DATA DRONE, C.A. (Píxel de dron) en alianza con ESRI. Información de uso restringido, autorizada exclusivamente para el apoyo táctico de cuerpos de rescate, Protección Civil y autoridades competentes. Fecha del vuelo 28/06/2026

[8] 23/07/2026 Levantamiento realizado por Data Drone, C.A.



Figura 2-48. Alcance de las imágenes de drones para el edificio Torre Marina



Figura 2-49. Calle detrás del edificio El Jurel



Figura 2-50. Desprendimientos del terreno debajo del edificio Torre Marina

2.5 Inspecciones de las presas

La cordillera costera de Venezuela (Cordillera de la Costa) ha estado sujeta históricamente a inundaciones recurrentes y aludes torrenciales. El desastre de Vargas en diciembre de 1999 desencadenó una importante respuesta de ingeniería que incluyó la construcción de 63 presas de retención de sedimentos y la canalización de 25 cauces de agua entre 2000 y 2008, todo ello diseñado para proteger a las comunidades ubicadas en zonas de alto riesgo.

Se evaluó el estado actual de estas presas de retención de sedimentos, teniendo en cuenta el impacto potencial de los eventos sísmicos en sus estructuras y el riesgo de que los deslizamientos de tierra provocados por los terremotos generen flujos de detritos adicionales. Obras Públicas y el personal de la UCV facilitaron a los colaboradores de GEER (Pascual Perazzo) el acceso y el transporte para visitar varias presas de retención de sedimentos en La Guaira. Se están llevando a cabo inspecciones de 61 presas de escombros distribuidas en 26 cuencas hidrográficas (Figura 2-51). La Tabla 2-5 documenta la ubicación general de estas presas de sedimentos. Algunas de estas presas ya han sido inspeccionadas y los detalles se incluyen en la Sección 12.

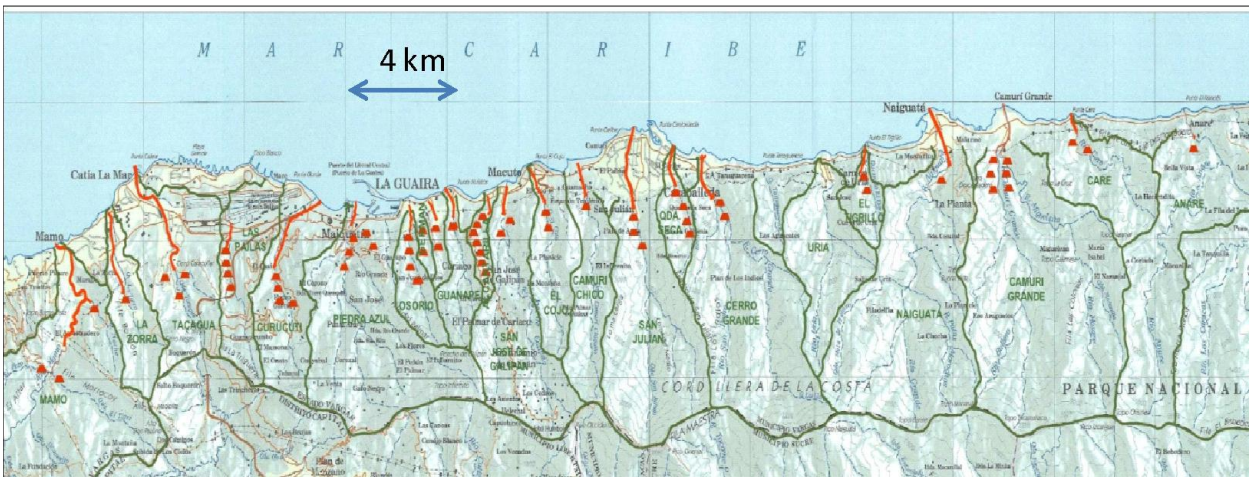


Figura 2-51. Cuencas hidrográficas (líneas) y presas de retención de sedimentos (marcadores rojos) en el Litoral Central. Fuente: López 2010

Tabla 2-5. Las presas de retención de sedimentos se inspeccionarán en agosto de 2026

Número	Cuenca hidrográfica / Corriente de agua	Ubicación	Nro. de presas
1	Quebrada El Piache	Catia La Mar	1
2	Quebrada El Pozo	Catia La Mar	1
3	Quebrada El Tigre	Catia La Mar	1
4	Quebrada La Zorra	Catia La Mar	1
5	Quebrada Tacagua	Catia La Mar	3
6	Quebrada Las Pailas	Maiquetía	4
7	Quebrada Piedra Azul	Maiquetía	3
8	Quebrada Curucutí	Maiquetía	4
9	Quebrada Dos Comadres	Maiquetía	2
10	Quebrada Osorio	La Guaira	4
11	Quebrada Germán	La Guaira	2
12	Quebrada Cariaco	La Guaira	2
13	Quebrada Guanape	La Guaira	1
14	Quebrada Alcantarilla	Macuto	7
15	Río San José de Galipán	Macuto	2
16	Río El Cojo	Macuto	2
17	Río Camurí Chico	Camurí Chico	1
18	Río San Julián	Caraballeda	3
19	Quebrada Seca	Caraballeda	4
20	Río Cerro Grande	Tanaguarena	2

Número	Cuenca hidrográfica / Corriente de agua	Ubicación	Nro. de presas
21	Quebrada El Tigrillo	Tanaguarena	2
22	Río Naiguatá	Naiguatá	1
23	Río Camurí Grande	Camurí Grande	3
24	Río Migueleno	Camurí Grande	3
25	Quebrada Care	Care	2
26	Río Anare	Anare	2

2.6 Referencias

López, J.L. 2010, "Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas", Edición UCV-Fundación Polar.

Martínez, C. (2026). Conjunto de datos de daños en edificios de crisisvenezuela.org, terremotos de Venezuela del 24 de junio de 2026. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.21154222

3. TECTÓNICA REGIONAL

Tabla 3-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Eduardo Carrillo	Profesional, Consultores Geosyntec, EE. UU.

3.1 Resumen

Los sismos del 24 de junio de 2026 en el norte de Venezuela ocurrieron dentro del complejo límite de la placa Caribe-Sudamérica, donde la deformación es absorbida por el Bloque Norte Andino y distribuida a través de importantes sistemas de fallas transpresivas dextrales (Audemard, 2002). Se interpreta que la secuencia se inició a lo largo del Sistema de Fallas de Boconó con un sismo de magnitud 7.2 y posteriormente se propagó hacia el noreste hasta la Falla de San Sebastián, donde un sismo de mayor magnitud, 7.5, tuvo un gran impacto a lo largo de la costa centro-norte de Venezuela y el Área Metropolitana. Las evidencias geológicas, geodésicas y sismotectónicas indican que el sistema de fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar concentra gran parte del movimiento relativo entre la placa del Caribe y los bloques de Maracaibo, Bonaire, y la placa suramericana. La sismicidad histórica, donde se incluyen los sismos destructores de 1812, 1900 y 1967, junto con las investigaciones paleosísmicas a lo largo de la falla de Boconó, demuestran que este sistema de fallas a lo largo del límites sur de la Placa Caribe ha generado sismos de gran magnitud con recurrencias de cientos o miles de años (Pousse-Beltran et al., 2017: Pérez et al., 2018; Audemard et al., 2000; Audemard, 2002; y Hernández y Schmitz, 2023). La aparente superposición espacial entre las rupturas de 1812 y 2026 sugiere que los sismos de magnitud 7.2 y 7.5 de 2026 podrían representar un ciclo sísmico recurrente que afecta a la zona de Caracas-La Guaira. Estos hallazgos ponen en evidencia el peligro sísmico que representan las fallas de transcurrentes y transpresivas activas en el norte de Venezuela, particularmente donde la ruptura de fallas, la amplificación de cuenca y el denso desarrollo urbano interactúan para aumentar el riesgo sismico.

3.2 Contexto tectónico y geodinámico

Los sismos del 24 de junio de 2026 ocurrieron en el complejo límite sur de la placa Caribe, dominado por la interacción entre la placa Caribe con las placas Sudamericana y de Nazca dentro de una amplia zona de deformación comúnmente conocida como el Bloque Norte Andino (NAB) (Audemard, 2002). Los estudios geodésicos y geológicos indican que el NAB se comporta como una unidad tectónica independiente, en lugar de ser un componente rígido de la Placa Sudamericana. La convergencia entre placas y el desplazamiento lateral dextral en curso han dado como resultado la migración hacia el noreste de este dominio cortical en relación con la placa Sudamérica estable (Audemard 2002; Trenkamp et al., 2002). En el oeste y norte de Venezuela, los esfuerzos asociados a este limite de placa se divide entre varias sistemas fallas regionales que definen los bloques de Maracaibo y Bonaire, y son absorvidos por varios sistemas de fallas

transpresivas a lo largo del complejo límite sur de la placa del Caribe (Pennington, 1981; Trenkamp et al., 2002; Pousse-Beltran et al., 2017) (Figura 3-1).

Este límite de placas tectónicas da lugar a uno de los elementos fisiográficos más importantes del norte de Venezuela, conocido como La Cordillera de la Costa. La Cordillera de la Costa está compuesta por dos dominios fisiográficos con orientación este-oeste, un cinturón norte y otro sur, separados por la falla de La Victoria, que actualmente tiene un desplazamiento dextral (Figura 3-2). El dominio norte, conocido como la Serranía Costera, forma el sector topográfico más elevado de la sierra y comprende, de norte a sur, los cinturones de Tacagua y Carayaca, el Cinturón del Ávila, formado predominantemente por rocas del basamento félsico paleozoico y más antiguas, y el Cinturón de Caracas, compuesto principalmente por rocas metasedimentarias. Los protolitos de estas secuencias metasedimentarias generalmente se interpretan como representativos de los depósitos del Jurásico Superior al Cretácico de un margen continental pasivo orientado al norte que posteriormente sufrió metamorfismo durante el Paleógeno (Pindell et al., 2025).

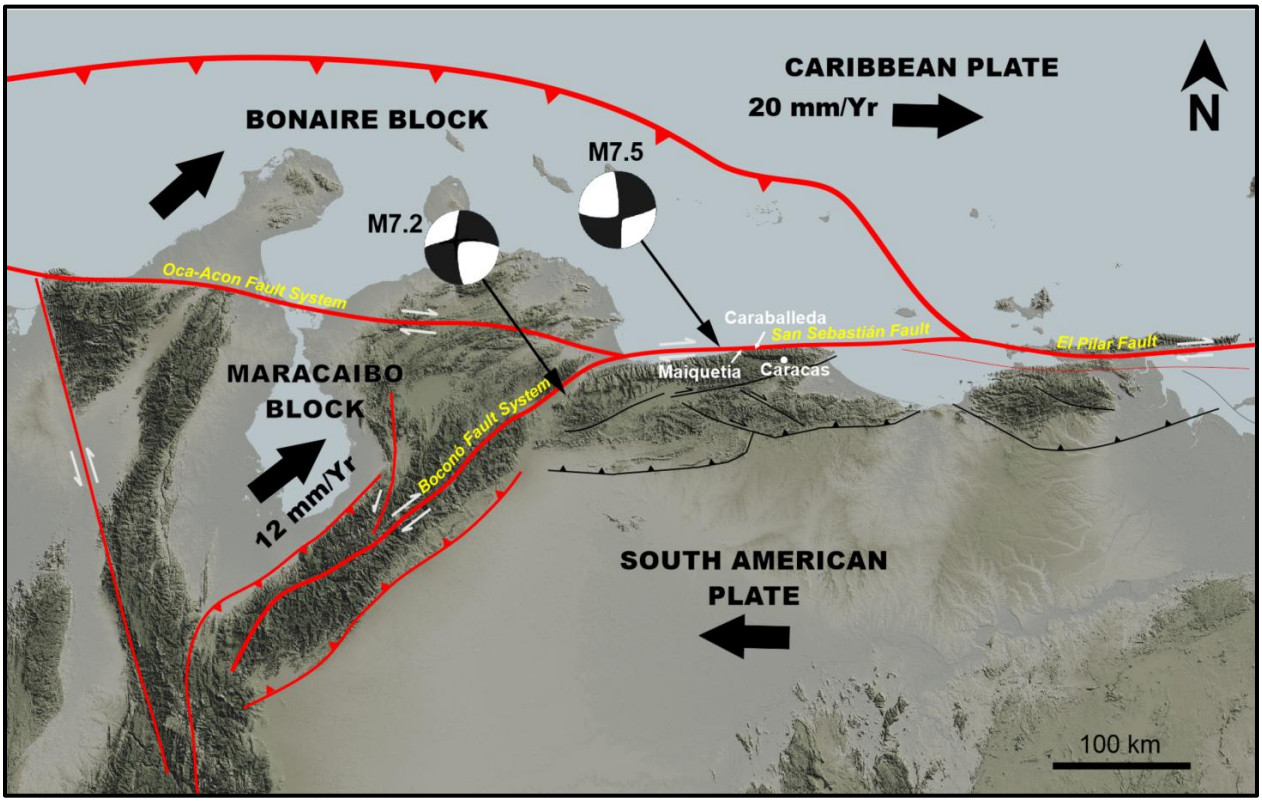


Figura 3-1. Contexto tectónico de los sismos del 24 de junio en el norte de Sudamérica. Los principales sistemas de fallas asociados al límite sur de la placa del Caribe están resaltados en rojo. La ubicación de los dos epicentros y los mecanismos focales según USGS (2026a) y USGS (2026b). Características estructurales tomadas de Audemard y Audemard (2002). Vectores geodésicos y tasas de desplazamiento según Mora-Páez y Audemard (2021), Pérez et al. (2018) y Pérez et al. (2001).

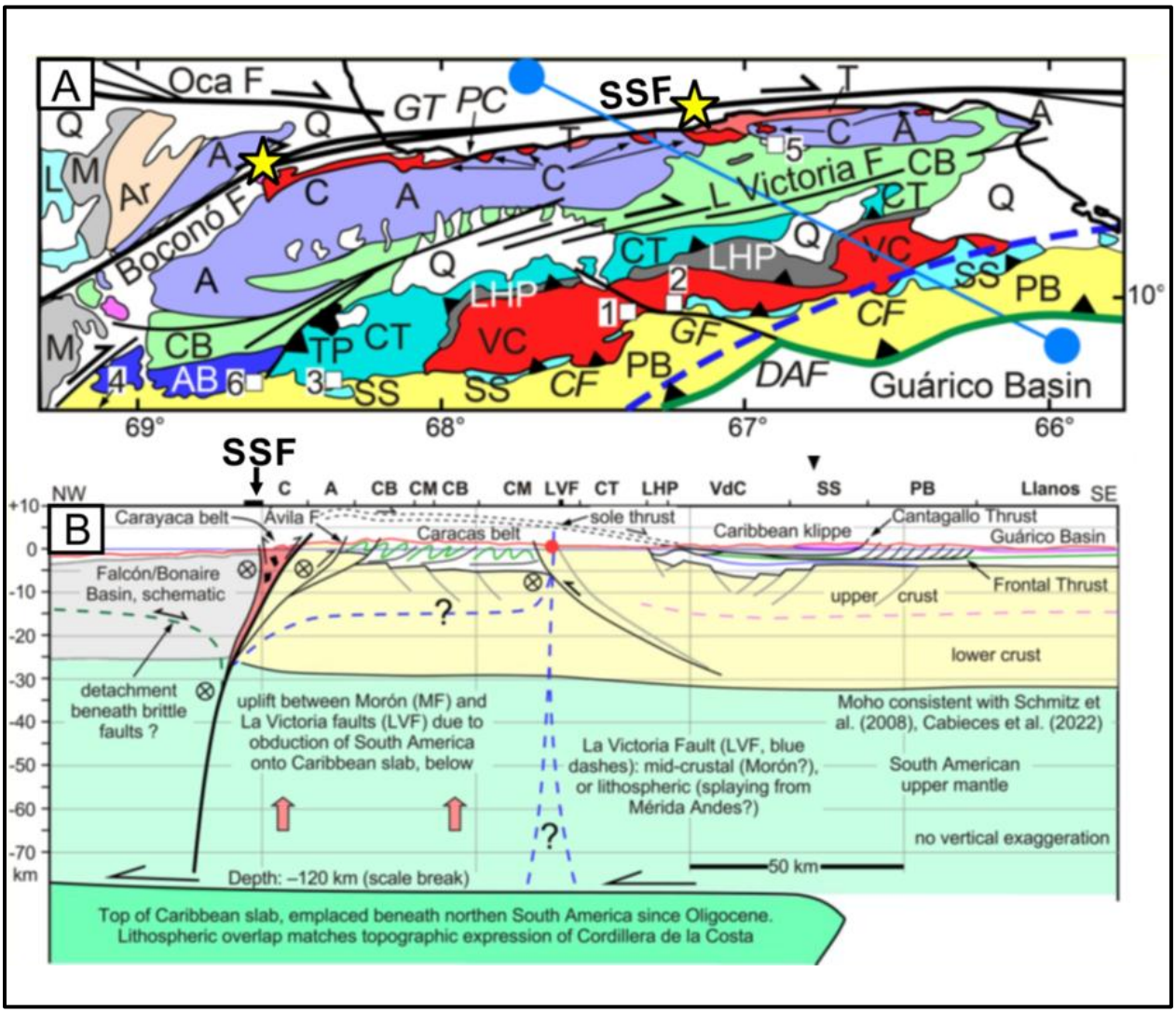


Figura 3-2. Mapa geológico simplificado (A) y sección transversal tectónica (B) del límite de la placa Caribe-Sudamérica a través de la región centro-norte de Venezuela, adaptados de Pindell et al. (2025). El marco tectonoestratigráfico del norte de Venezuela comprende el Terreno de Ávila (A), Terreno de Agua Blanca (AB), Terreno de Aroa (Ar), Terreno de Carayaca (C), Terreno de San Sebastián (SS), Terreno de Tacagua (T), Terreno de Los Cristales (M) y Terreno de Villa de Cura (VC). Entre los principales elementos estructurales se destacan el Cinturón de Caracas (CB), el Cinturón Caucagua-El Tinaco (CT), el Cinturón Loma de Hierro-Paracotos (LHP) y el Cinturón del Piamonte (PB), así como los principales sistemas de fallas como la Falla de Cantagallo (CF) y la Falla de Guárico (GF). Otras características geológicas significativas representadas en la región son las Napas de Lara (L), Puerto Cabello (PC), Golfo Triste (GT) y la Peridotita de Tinaquillo (TP). Los depósitos cuaternarios están indicados con la letra Q. Este conjunto de terrenos, cinturones tectónicos, fallas y unidades litológicas registra la compleja evolución tectónica de la Cordillera de la Costa venezolana y las regiones adyacentes.

La geodesia satelital ha demostrado que el Bloque de Maracaibo se está moviendo actualmente en dirección norte-noreste con respecto a la Placa Sudamericana a velocidades del orden de 9 a 13 milímetros por año (mm/año) y una tasa de compresión de ~2 a 4 mm/año (Perez et al., 2001; Pérez et al., 2018; Reinoza et al., 2020; Pousse-Beltran et al., 2017), mientras que la placa del Caribe se mueve ~20 mm/año hacia el este con respecto a Sudamérica (p.ej., Perez et al., 2011 y Weber et al., 2001, Mora-Páez y Audemard, 2021). Los análisis de la tasa de desplazamiento lateral a largo plazo indican que la falla puede absorber la mayor parte del movimiento relativo entre el Bloque de Maracaibo, el Bloque de Bonaire, la Placa del Caribe y la Placa estable de Sudamérica, lo que resalta la concentración de la deformación a lo largo de los principales sistemas de fallas dextrales de desplazmiento lateral, incluidos los sistemas de fallas de Boconó, Oca-Ancon, San Sebastián y El Pilar (Pérez et al., 2001; Audemard 2002; Reinoza, 2020).

El epicentro del primer sismo, de magnitud 7.2, se localizó en el Sistema de Fallas de Boconó, una de las principales estructuras que controlan la deformación de la corteza terrestre en Venezuela. Este sistema de fallas de desplazamiento lateral dextral se extiende aproximadamente 500 km desde la frontera colombo-venezolana a través de los Andes venezolanos y continúa en la región de Yaracuy, donde se fusiona hacia el noreste con el Sistema de Fallas de San Sebastián (Audemard et al., 2000; Audemard y Audemard, 2002; Pousse-Beltran et al., 2017).
La fractura cosísmica del terremoto de magnitud 7.2 del 24 de junio de 2026 se propagó a lo largo de la continuación noreste de la falla de Boconó costa afuera, conocida como la falla de San Sebastián, donde ocurrió el segundo y más destructivo de los sismos, de magnitud 7.5. La falla de San Sebastián es un sistema de fallas de desplazamiento lateral dextral que se extiende de este a oeste por aproximadamente 470 km, desde la región de Morón-Puerto Cabello hasta el golfo de Araya en el este de Venezuela, definiendo el límite sur de la placa del Caribe (Schubert y Krause, 1984; Audemard, 2000; Colón et al., 2015; Colón-Useche et al., 2021). Se ha estimado que el desplazamiento lateral dextral de la falla de San Sebastián es de 17 mm/año (Pérez et al., 2018) generando la mayoría de los terremotos destructivos en la región centro-norte de Venezuela. Aunque la falla de San Sebastián es predominantemente una falla costa afuera, su nombre se le ha asignado debido a su presencia en San Sebastián de Maiquetía (conocida como Maiquetía), donde la falla aflora durante aproximadamente nueve kilómetros y tiene un relevo transpresivo con el segmento norte de la falla de desplazamiento lateral dextral observado al norte del Aeropuerto Internacional de Maiquetía, originalmente llamada Falla de Bruscas (Weisbord, 1957). La falla de San Sebastián también se ha interpretado como una falla que cruza el abanico de flujo de detritos de Caraballeda y continúa por el límite sur de los depósitos aluviales, lo que hace que su manifestación en tierra sea incierta y controvercial. En las siguientes secciones se analizará el posible desplazamiento cosismico en tierra firme de la falla de San Sebastián y su efecto en los masivos daños estructurales en el estado de La Guaira y la ciudad de Caracas.

3.3 Terremotos históricos

El sistema de fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar ha generado los terremotos históricos más destructivos de Venezuela en la región centro-norte del país. Entre los terremotos históricos que afectaron la región, destaca el sismo de 1812, que produjo la mayor destrucción en Caracas y La Guaira, seguido por los terremotos de 1641 y 1900, mientras que los de 1967 y 1766 se asociaron con niveles de daños comparativamente menores (Hernández y Schmitz, 2023). La ubicación y extensión estimadas de las rupturas tectónicas asociadas con los terremotos históricos más

significativos que afectaron a La Guaira, Caraballeda y Caracas se han ubicado a lo largo de las fallas de San Sebastián y La Tortuga, mientras que los sismos del 24 de junio de 2026 tuvieron un primer epicentro en falla de Boconó y un segundo epicentro en la falla de San Sebastián (Figura 3-3). En los siguientes capítulos se presentarán pruebas y análisis de las rupturas superficiales cocismicas ocurridas durante los sismos del 24 de junio de 2026. Cabe señalar que la superposición de las rupturas de los terremotos de 1812 y 2026 sugiere que el terremoto de magnitud 7.5 de 2026 podría ser el terremoto recurrente de ~200 años asociado con el terremoto de 1812.

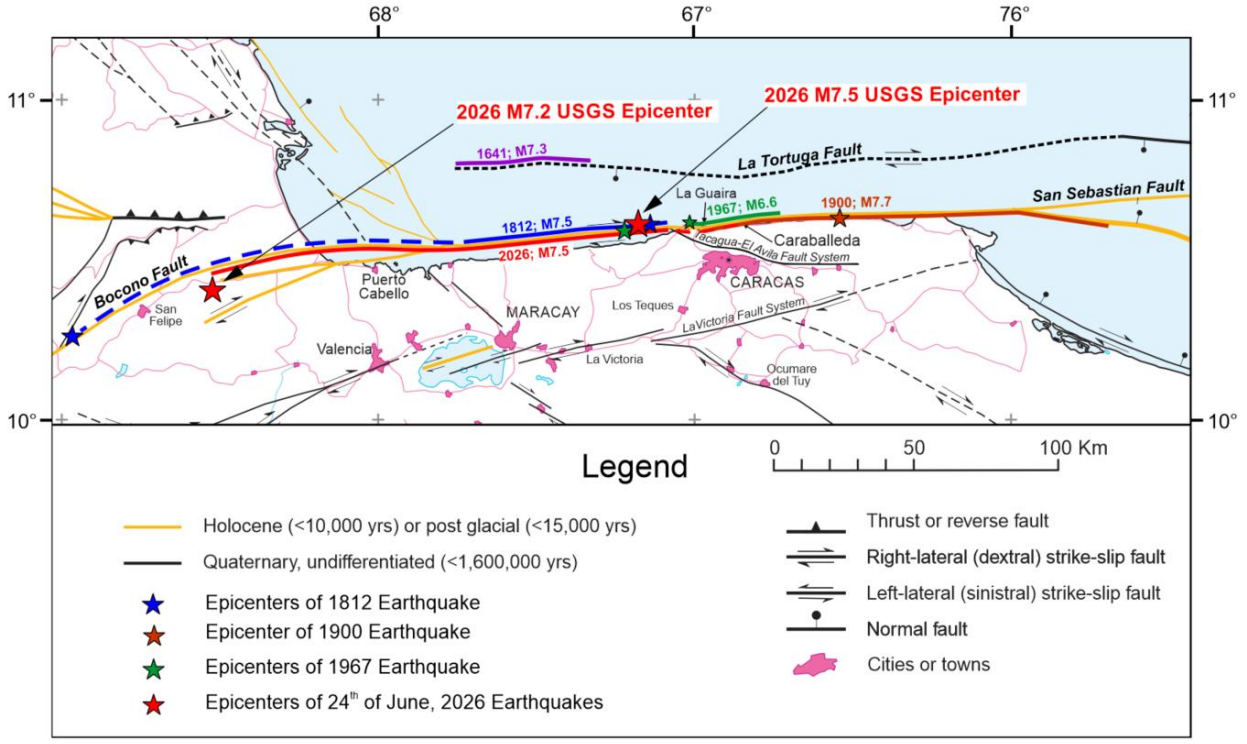


Figura 3-3. Localización de los epicentros y rupturas de los principales terremotos históricos que afectaron a La Guaira-Maiquetía, Caraballeda, Macuto y Caracas. Modificado y adaptado de Pousse-Beltran et al. (2017), Pérez et al. (2018), Audemard et al. (2000), Audemard (2002) y Hernández y Schmitz (2023). Los terremotos menores o no destructivos asociados con los sistemas de fallas de La Victoria y Tacagua-El Ávila se omiten por razones de simplicidad. La ubicación de los epicentros se refleja según USGS (2026a) y USGS (2026b).

El terremoto multievento de Caracas del 26 de marzo de 1812 se considera de manera generalizada como uno de los terremotos más destructivos en la historia de Venezuela, el cual produjo graves daños en ciudades separadas por varios cientos de kilómetros, como Caracas, La Guaira, Barquisimeto, San Felipe y Mérida (Choy et al., 2010. Grases (1990) estima que las magnitudes Ms para tres epicentros o subeventos, incluidas las rupturas en Mérida, Barquisimeto-San Felipe y Caracas, son 7.0, 7.2 y 6.3, respectivamente (Choy et al., 2010). Estudios sismotectónicos históricos y contemporáneos indican que múltiples terremotos estuvieron asociados con una ruptura del sistema de fallas de San Sebastián costa afuera y con uno o dos segmentos del sistema de fallas de Boconó. Aunque persisten las incertidumbres con respecto al número y la ubicación

de los segmentos de ruptura, la mayoría de los estudios concluyen que el terremoto involucró al menos dos grandes rupturas de falla que afectaron las regiones central y occidental del norte de Venezuela (Grases, 1990; Altez, 1998; Audemard, 2002; Choy et al., 2010, entre otros).

El terremoto de Caracas del 29 de octubre de 1900 (magnitud ~7.6 a 7.7), el mayor evento sísmico conocido en Venezuela antes de 2026, ha sido objeto de debate entre dos posibles estructuras costa afuera. Algunos autores lo atribuyen a la falla de La Tortuga (Schmitz, 2020), validando centros de intensidad macrosísmica más antiguos, mientras que otros (ej., Audemard, 2002) lo reubican más cerca de la costa y lo atribuyen a la falla de San Sebastián. Un levantamiento sísmico marino de poca profundidad y alta resolución que llevó a cabo Colón et al. (2015) aportó nuevas evidencias estructurales basadas en la frescura de los escarpes de fallas submarinas y los desplazamientos verticales recientes, concluyendo a favor de la falla de San Sebastián como origen del sismos de 1900. La falla de San Sebastián ha sido responsable además de varios sismos históricos que afectaron a La Guaira, Maiquetía, Caraballeda y Caracas (Audemard, 2002; Colon et al., 2015; Schmitz, 2020), incluidos los de 1868, 1945 y uno de los epicentros de los terremotos dobles de 1812 (Audemard, 2002).

El terremoto de Caracas de 1967 ocurrió el 29 de julio de 1967 y está considerado como uno de los eventos sísmicos más importantes de la historia moderna de Venezuela. El terremoto tuvo una magnitud de aproximadamente 6.6 y se originó a lo largo del segmento en alta mar de la falla de San Sebastián. Los análisis sismológicos indican que la ruptura se propagó predominantemente de oeste a este a lo largo de una zona de falla con orientación este-oeste al norte de Caracas, con una profundidad de aproximadamente 14-25 km (Suárez y Nábělek, 1990; Audemard et al., 2000; Audemard, 2007).

A pesar de su magnitud moderada, el terremoto de 1967 generó graves repercusiones en toda la región metropolitana de Caracas y la costa central venezolana. En algunos sectores, la intensidad máxima alcanzó el grado IX (Violento), y el terremoto causó aproximadamente entre 225 y 300 muertos, más de 1.500 heridos y cuantiosas pérdidas económicas. Los daños estructurales se concentraron en varios distritos del este de Caracas, donde se derrumbaron cuatro torres residenciales de concreto armado y numerosos edificios adicionales sufrieron importantes daños estructurales y arquitectónicos. El evento demostró que pueden ocurrir pérdidas urbanas graves incluso durante terremotos de magnitud moderada cuando las condiciones de localizacion del sismo, el sitio y la estructura interactúan de manera desfavorable (Sozen et al., 1968; Seed et al., 1972; Suárez y Nábělek, 1990; Seed et al., 1972).

Las investigaciones posteriores al terremoto identificaron las condiciones geológicas locales como factor primario que controla la distribución de los daños observados (ej., Seed et al., 1972). Estudios realizados en el Valle de Caracas demostraron que los depósitos aluviales profundos amplificaron las ondas sísmicas y aumentaron la respuesta de los edificios de mediana y gran altura cuyos períodos de vibración natural coincidieron con el período fundamental de los sedimentos de la cuenca (Seed et al., 1972). Los daños fueron especialmente graves en el sector de Los Palos Grandes, donde la geometría de la cuenca y las características del suelo produjeron importantes efectos de amplificación. Estos hallazgos establecieron el terremoto de 1967 como un caso de estudio clásico que ilustra la importancia de los efectos del sitio, la resonancia de cuenca y la interacción entre suelo y estructura en la ingeniería sísmica (Seed et al., 1972; Papageorgiou y Kim, 1991).

El terremoto de 1967 tuvo una profunda influencia en el desarrollo de la evaluación del peligro sísmico y el diseño sismorresistente en Venezuela. Esto impulsó una amplia investigación sobre los sistemas de fallas activas, la microzonificación sísmica, el comportamiento de movimientos sísmicos intensos y el desempeño de las edificaciones, lo que condujo a importantes avances en la comprensión del riesgo sísmico a lo largo del límite de placas entre el Caribe y Sudamérica. Más de cinco décadas después, el terremoto de Caracas de 1967 sigue sirviendo como un evento de referencia para los estudios de deformación tectónica, los procesos de la fuente de los terremotos y la vulnerabilidad sísmica urbana en el norte de Venezuela (Suárez y Nábělek, 1990; Papageorgiou y Kim, 1991; Audemard et al., 2000).

Finalmente, en el este de Venezuela, la falla de El Pilar, ubicada en el noreste del país, produjo un gran sismo en 1766 y un evento destructivo más reciente de magnitud ~6.9 en 1997, conocido como el terremoto de Cariaco, cuya ruptura y distribución de réplicas fueron caracterizadas en detalle por Baumbach et al. (2004).

3.4 Registro paleos í smico

Las investigaciones paleosismológicas hechas a lo largo del límite sur de la placa del Caribe ofrecen pruebas sólidas sobre la ocurrencia de terremotos recurrentes de gran magnitud en escalas temporales tanto centenarias como milenarias. A lo largo del sistema de fallas de Boconó, los estudios gemorfologicos de fallas activas, las investigaciones mediante trincheras y los depósitos lacustres cuaternarios han documentado un largo historial de sismos con ruptura superficial que se extienden desde el Pleistoceno tardío hasta el presente (Audemard y Singer, 1997; Audemard et al., 2006; Carrillo et al., 2006; Carrillo et al., 2008; Rodríguez, 2018). Más recientemente, Pousse-Beltran et al. (2017, 2018) reconstruyeron la historia sísmica de la falla central de Boconó (segmento Boc-e) durante el último milenio, ofreciendo datos importantes sobre el comportamiento de la falla y los patrones de recurrencia. Los registros históricos indican además que el sistema de fallas ha generado varios terremotos destructivos, incluidos los ocurridos en 1610, 1674, 1812, 1849, 1894, 1932 y, más recientemente, la secuencia sísmica del 24 de junio de 2026, cuyos epicentros se ubicaron cerca de San Felipe y Catia La Mar a lo largo del ramal norte de la falla. Los intervalos de recurrencia derivados de estudios paleosísmicos sugieren que los sismos más importantes ocurren repetidamente a lo largo de la falla de Boconó. Los períodos de retorno estimados observados en estudios paleosísmicos varían desde aproximadamente 200 a 300 años para algunos segmentos de falla, hasta 1000 a 2000 años para escenarios de ruptura más grandes, lo que refleja variaciones en la longitud del segmento, la tasa de desplazamiento y la extensión de la ruptura (Audemard, 1997; Audemard, 2002; Audemard et al., 2006; Carrillo et al., 2006; Carrillo et al., 2008; Pousse-Beltran et al., 2017; Rodríguez et al., 2016).

Varios sistemas de fallas importantes en la región centro-norte de Venezuela, como las fallas de Tacagua-El Ávila y La Victoria, también podrían afectar potencialmente las áreas de Caracas y La Guaira. Estas fallas han mostrado sismicidad histórica reciente (p. ej., Schmitz, 2020), así como evidencia de actividad paleosísmica (p. ej., Rodríguez et al., 2016). Los posibles efectos de los terremotos de 2026 sobre las tensiones a lo largo de estos sistemas de fallas, hasta el momento, siguen siendo inciertos. Sin embargo, se ha registrado actividad post sismica signficativa cerca de las expresiones superficiales de estas fallas (FUNVISIS, 2026).

Los terremotos históricos, confirmados a través de investigaciones paleosismológicas, junto con la actividad sísmica documentada a lo largo de los sistemas de las fallas de Boconó y San Sebastián-El Pilar, demuestran que la región de Caracas-La Guaira ha experimentado repetidamente grandes terremotos asociados con el límite complejo de placas Caribe-Sudamérica (Figura 3-4). Estos sucesos ponen de relieve la persistencia a largo plazo de la deformación tectónica activa en el norte de Venezuela y resaltan la capacidad de los sistemas de fallas regionales para generar terremotos destructivos capaces de producir fuertes movimientos telúricos, extensos daños estructurales e importantes repercusiones sociales en uno de los corredores urbanos más densamente poblados del país.

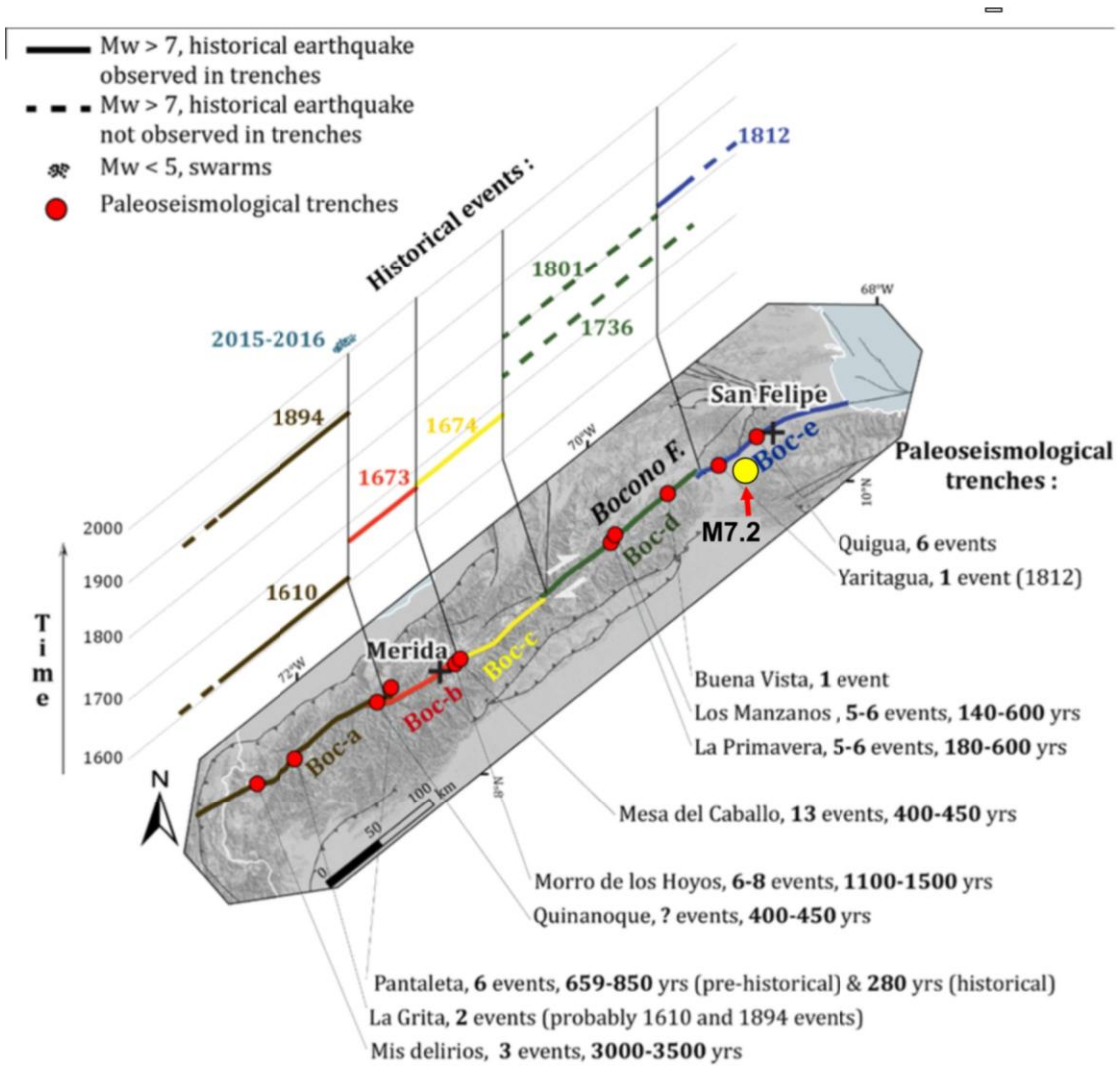


Figura 3-4. Distribución espaciotemporal de la sismicidad histórica y ubicación de los sitios de trincheras a lo largo de la falla de Boconó según Audemard (2014) y Pousse-Beltran (2018). "Boc-e" indica el segmento de la falla de Boconó que se activó durante el terremoto del 24 de junio de 2026. El punto amarillo indica el epicentro del terremoto de magnitud 7.2 ocurrido el 24 de junio de 2026.

3.5 Referencias

Altez, R. (2018). Cronometrización extemporánea: Los sismos del 26 de marzo de 1812 en Caracas y en Mérida, Rev. Geog. Vla., 39, 297–326.

Audemard, F. A., Machette, M. N., Cox, J. W., Dart, R. L., & Haller, K. M. (2000). Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions (No. 2000-18) [Mapa y base de datos de fallas cuaternarias en Venezuela y sus regiones marinas (Nro. 2000-18)]. US Geological Survey.

Audemard, F. A. (2002). Reevaluation of the 1812 Venezuelan earthquake sequence and its associated fault systems [Reevaluación de la secuencia sísmica de 1812 en Venezuela y sus sistemas de fallas asociados]. En W. D. McCann y R. E. Stein (Eds.), Evaluation of Proposed Earthquake Precursors. American Geophysical Union.

Audemard, F. A., Singer, A., Soulas, J.-P., y la Sección de Neotectónica de FUNVISIS. (2006). Quaternary faults and stress regime of Venezuela [Fallas cuaternarias y régimen de esfuerzos de Venezuela]. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61(4), 480–491.

Audemard, F.A. (2007). Active tectonics and seismicity of Venezuela [Tectónica activa y sismicidad de Venezuela].

Audemard, F.A. y Audemard, F.E. 2002. Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction [Estructura de los Andes de Mérida, Venezuela: relaciones con la interacción geodinámica entre Suramérica y el Caribe]. Tectonophysics, 345, 299–327.

Audemard, F.A., Machette, M.N., Cox, J.W., Dart, R.L., & Haller, K.M. (2000). Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela an its Offshore Regions [Mapa y base de datos de fallas cuaternarias en Venezuela y sus regiones marinas]. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-018.

Audemard, F.A. y Singer, A. (1997). Active fault recognition in northwestern Venezuela and its seismogenic characterization: neotectonic and paleoseismic approach [Reconocimiento de fallas activas en el noroeste de Venezuela y su caracterización sismogénica: enfoque neotectónico y paleosísmico]. Geofísica Internacional, 36(3), 153–164.

Baumbach, M., Grosser, H., Romero Torres, G., Rojas Gonzales, J.L., Sobiesiak, M., Welle, W. (2004). Aftershock pattern of the July 9, 1997 Mw=6.9 Cariaco earthquake in northeastern Venezuela [Patrón de réplicas del terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997 (Mw=6.9) en el noreste de Venezuela]. Tectonophysics, 379, 1–23.

Carrillo, E., Audemard M, F. A., Beck, C., Cousin, M., Jouanne, F., Cano, V. & Villemin, T. (2006). A late Pleistocene-Holocene natural seismograph along the Boconó Fault (Merida Andes, Venezuela): the moraine-dammed Los Zerpa paleo-lake [Un sismógrafo natural del Pleistoceno tardío-Holoceno a lo largo de la falla de Boconó (Andes de Mérida, Venezuela): el paleolago Los Zerpa represado por morrenas]. Bulletin de la Société Géologique de France, 177(1), 3-17.

Carrillo, E., Beck, C., Audemard, F. A., Moreno, E., & Ollarves, R. (2008). Disentangling late Quaternary climatic and seismo-tectonic controls on Lake Mucubají sedimentation (Mérida Andes, Venezuela) [Desentrañando los controles climáticos y sismo-tectónicos del Cuaternario tardío en la sedimentación de la laguna de Mucubají (Andes de Mérida, Venezuela)]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 259(2-3), 284-300.

Castilla, R. A., Audemard, F., & de Investigaciones Sismológicas, F. V. (2000). Facies Sedimentarias del Abanico de Caraballeda y su Relación con la Licuación de Suelos durante el sismo de Caracas de 1967. XVI Seminario venezolano de Geotecnia. Calamidades Geotécnicas Urbanas con Visión al Sligo XXI

Choy, J. E., Palme, C., Guada, C., Morandi, M., & Klarica, S. (2010). Macroseismic interpretation of the 1812 earthquakes in Venezuela using intensity uncertainties and a priori fault-strike information [Interpretación macrosísmica de los terremotos de 1812 en Venezuela utilizando incertidumbres de intensidad e información a priori del rumbo de la falla]. Bulletin of the Seismological Society of America, 100(1), 241–255.

Colón, S., Audemard, F.A., Beck, C., Avila, J., Padrón, C., De Batist, M., Paolini, M., Leal, A.F., Van Welden, A. (2015). The 1900 Mw 7.6 earthquake offshore north–central Venezuela: Is La Tortuga or San Sebastián the source fault? [El terremoto de 1900 de Mw 7.6 frente a la costa centro-norte de Venezuela: ¿la falla de La Tortuga o la de San Sebastián es la falla fuente?] Marine and Petroleum Geology, 67, 498–511.

Colón-Useche, S., Audemard, F. A., Beck, C., Padrón, C., & De Batist, M. (2021). Margen norte costa afuera de Venezuela: sísmica marina de alta resolución entre Golfo Triste y Cabo Codera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 73(2).

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). 2026. *Portal Sismológico de Venezuela: actividad sísmica y secuencia de réplicas posterior al sismo del 24 de junio de 2026*. Disponible en: http://www.funvisis.gob.ve/monitor.html. Consultado en junio y julio de 2026.

Mora-Páez, H. y Audemard, F. 2021. GNSS Networks for Geodynamics in the Caribbean, Northwestern South America, and Central America [Redes GNSS para geodinámica en el Caribe, el noroccidente de Suramérica y Centroamérica]. En Geodetic sciences-theory, applications and recent developments. IntechOpen.

Pérez, O.J., Bilham, R., Bendick, R., Velandia, J.R., Hernández, N., Moncayo, C., Hoyer, M., Kozuch, M. 2001. Velocity field across the southern Caribbean plate boundary and estimates of Caribbean/South American plate motion using GPS geodesy 1994–2000 [Campo de velocidades a través del límite de la placa del Caribe sur y estimaciones del movimiento de las placas del Caribe y Suramérica mediante geodesia GPS 1994–2000]. Geophysical Research Letters, 28(15), 2987–2990.

Pérez, O.J., Wesnousky, S.G., De La Rosa, R., et al. 2018. On the interaction of the North Andes plate with the Caribbean and South American plates in northwestern South America from GPS geodesy and seismic data [Sobre la interacción de la placa de los Andes del Norte con las

placas del Caribe y Sudamericana en el noroeste de Sudamérica a partir de datos geodésicos de GPS y datos sísmicos]. Geophysical Journal International, 214(3), 1986–2018.

Pennington, W. D. 1981. Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America [Subducción de la cuenca oriental de Panamá y sismotectónica del noroeste de Sudamérica]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 86(B11), 10753-10770.

Pindell, J., Maresch, W. V., Urbani Patat, F., Scherer, E. E., Schertl, H. P., Stanek, K., ... & Villagómez, D. 2025. Late Eocene Lu–Hf ages on Carayaca (Puerto Cabello) eclogites: reconstructing the history of the central Cordillera de la Costa, northern central Venezuela [Edades de Lu–Hf del Eoceno tardío en las eclogitas de Carayaca (Puerto Cabello): reconstruyendo la historia de la Cordillera de la Costa central, centro-norte de Venezuela]. *Journal of the Geological Society*, *182*(4), jgs2024-145.

Pousse-Beltran, L., Vassallo, R., Audemard, F., Jouanne, F., Carcaillet, J., Pathier, E., & Volat, M. 2017. Pleistocene slip rates on the Boconó fault along the North Andean Block plate boundary, Venezuela [Tasas de deslizamiento del Pleistoceno en la falla de Boconó a lo largo del límite de placa del Bloque Norandino, Venezuela]. Tectonics, 36(7), 1207–1231.

Pousse-Beltran, L., Vassallo, R., Audemard, F., Jouanne, F., Oropeza, J., Garambois, S., Aray, J. (2018). Earthquake geology of the last millennium along the Boconó Fault, Venezuela [Geología sísmica del último milenio a lo largo de la falla de Boconó, Venezuela]. Tectonophysics, 747–748, 40–53.

Reinoza, C. E., Jouanne, F., Pousse-Beltrán, L., & Beck, C. 2020. Strain calculations of active tectonic blocks in northeastern Venezuela from GNSS analysis [Cálculos de deformación de bloques tectónicos activos en el noreste de Venezuela a partir del análisis de GNSS]. Journal of South American Earth Sciences, 102, 102661.

Rodríguez, L. M., Ollarves, R., Audemard, F., Singer, A., Colón, S., Miró, C., & Viete, H. (2016). Estudio paleosísmico en la traza activa de la falla El Ávila, Santa Rosa, Caracas, Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 57(1), 38-57.

Seed, H. B., Whitman, R. V., Dezfulian, H., Dobry, R., & Idriss, I. M. (1972). Soil conditions and building damage in 1967 Caracas earthquake [Condiciones del suelo y daños en las edificaciones durante el terremoto de Caracas de 1967]. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, *98*(8), 787-806.

Schmitz, M., Bezada, M., Avila, J., Vieira, E., Yánez, M., Levander, A., Zelt, C.A., Magnani, M.B., Rocabado, V., Ollarves, R., Gil, G., Sánchez, J., Cano, V., Jácome, M.I., y el grupo de trabajo de sísmica activa Bolívar (2005). Crustal thickness variations in northern Venezuela from deep seismic observations [Variaciones del espesor de la corteza en el norte de Venezuela a partir de observaciones sísmicas profundas]. 6to Simposio Internacional sobre Geodinámica Andina, Universidad de Barcelona.

Schubert, C., & Krause, F. F. 1984. Móron fault zone, north-central Venezuelan borderland: Identification, definition, and neotectonic character [Zona de la falla de Morón, margen

continental del centro-norte de Venezuela: identificación, definición y carácter neotectónico]. Marine geophysical researches, 6(3), 257-273.

Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., & Mora, H. P. 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations [Deformación del límite de placa ancho, sur de América Central y noroeste de Sudamérica, observaciones de GPS del proyecto CASA]. Journal of South American Earth Sciences, 15(2), 157-171.

USGS. 2026a. M 7.2 - 21 km al ENE de San Felipe, Venezuela. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zc/executive

USGS. 2026b. M 7.5 - 17 km al O de Catia La Mar, Venezuela. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/executive

Weber, J.C., Dixon, T.H., DeMets, C., Ambeh, W.B., Jansma, P., Mattioli, G., Saleh, J., Sella, G., Bilham, R., Pérez, O. 2001. GPS estimate of relative motion between the Caribbean and South American plates, and geologic implications for Trinidad and Venezuela [Estimación por GPS del movimiento relativo entre las placas del Caribe y Sudamericana, e implicaciones geológicas para Trinidad y Venezuela]. Geology, 29(1), 75–78.

Weisbord, N.E., 1957, Notes on the Cabo Blanco Area, Venezuela [Notas sobre el área de Cabo Blanco, Venezuela]. Bulletins of American Paleontology, v. 38, no. 165, p. 1–51.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

Tabla 4-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Eduardo Carrillo	Profesional, Geosyntec Consultants, Inc.

4.1 Resumen

Los terremotos del 24 de junio de 2026 afectaron gravemente a dos sectores densamente poblados del centro de Venezuela: Estado La Guaira y Valle de Caracas. Ambas zonas están situadas a lo largo de la Cordillera de la Costa, una zona tectónicamente activa cuyo basamento rocoso está compuesto por un complejo metamórfico cubierto por depósitos cuaternarios heterogéneos. En el estado La Guaira, los daños estructurales se concentraron en los asentamientos costeros desarrollados sobre abanicos aluviales y terrazas marinas del Holoceno. Estos depósitos, que en algunos lugares superan los 400 m de espesor, registran la influencia combinada del drenaje de montaña de alta pendiente, los procesos costeros, la sedimentación por flujos de detritos y la actividad tectónica asociada a estructuras geológicas regionales como el sistema de fallas de San Sebastián. La presencia de depósitos de abanicos aluviales poco o no consolidados, así como de sedimentos costeros y lagunares potencialmente propensos a la licuación, probablemente contribuyó a la variabilidad de la respuesta sísmica del terreno y a los patrones de daños localizados.

En el valle de Caracas, los impactos del terremoto se asociaron principalmente con áreas de depósitos cuaternarios de relleno de cuenca, gruesos y lateralmente variables, incluyendo sedimentos aluviales, coluviales, lacustres y de flujos de detritos. La distribución y el espesor de estos depósitos están fuertemente controlados por el levantamiento vinculado a fallas, la subsidencia, la obstrucción del drenaje y los repetidos procesos de transporte masivo vinculados al sistema estructural Tacagua-El Ávila. Esta complejidad estratigráfica produce contrastes significativos en la rigidez, la compresibilidad, las condiciones del agua subterránea y las características de propagación de las ondas sísmicas, que son factores críticos para la evaluación de los efectos sísmicos de sitio y las características geotécnicas. En general, el marco geológico de La Guaira y Caracas indica que los patrones de daños causados por los terremotos están estrechamente relacionados con la interacción entre la tectónica activa, la geomorfología escarpada, los depósitos cuaternarios gruesos no consolidados o poco consolidados y los procesos recurrentes de flujos de detritos. Las condiciones complejas y variables del suelo ponen de manifiesto la necesidad de comprender las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las zonas más afectadas durante los terremotos del 24 de junio de 2026. Este conocimiento será fundamental para la planificación del uso del suelo, el diseño de cimientos y las estrategias de resiliencia de la infraestructura en los planes de desarrollo del estado de La Guaira y del Valle de Caracas.

4.2 Introducción

El terremoto del 24 de junio de 2026 afectó a dos de las zonas más pobladas del centro de Venezuela: el estado de La Guaira y la ciudad de Caracas. Ambas zonas están situadas sobre complejos depósitos cuaternarios que se han visto afectados repetidamente por la actividad tectónica local y por destructivos flujos de detritos. Los depósitos cuaternarios localizados discordantes sobre el extenso lecho rocoso, compuesto por una compleja asociación de rocas metamórficas que conforman la Cordillera de la Costa. Urbani (2025) ofrece un estudio profundo y exhaustivo de la geología del norte de Venezuela, incluyendo la historia y evolución del conocimiento geológico, asociaciones metamórficas, geocronología y las observaciones de campo, entre otros. Mientras que Urbani (2026) proporciona una extensa recopilación de documentos y mapas geológicos en el contexto de los sismos del 24 de junio de 2026 que aportan documentación adicional de mucho valor para comprender el complejo entorno geológico de la región afectada. Esta sección analiza la geología de las zonas más afectadas por los terremotos del 24 de junio de 2026 y ofrece una visión general de las características del lecho rocoso, las características del suelo y la geología estructural local.

4.3 Aspectos generales sobre la geología del estado de La Guaira.

El estado de La Guaira es una zona costera donde la Cordillera de La Costa llega hasta el Mar Caribe, con una pendiente generalmente pronunciada. Los estrechos valles que se forman a lo largo de la ladera orientada al norte permiten la expansión superficial de abanicos aluviales a lo largo de la costa, donde se asienta la mayor parte de la población del estado de La Guaira. Las principales llanuras formadas por la interacción de depósitos aluviales y sedimentos marinos son las zonas de Maiquetía-Playa Grande y La Guaira, y los pueblos de Caraballeda, Macuto y Tanaguanera, donde varios cientos de edificios resultaron dañados durante los terremotos del 24 de junio de 2026. Al sur de las principales zonas pobladas, la Cordillera de la Costa alcanza su punto más elevado (2.765 metros sobre el nivel del mar) en el Pico Naiguatá, situado entre el Mar Caribe y la ciudad de Caracas. La Cordillera de la Costa está compuesta por rocas ígneas y metamórficas del Mesozoico y algunas del Paleozoico, descritas brevemente en la sección anterior (Figura 3-2 y Figura 4-1), que representan el lecho rocoso en las áreas afectadas. En el estado de La Guaira, rodeando la zona de máxima destrucción de los terremotos del 24 de junio de 2026, esta asociación de rocas está compuesta principalmente por el Esquisto de Tacagua, los Esquistos de Las Brisas y el Gneis de Peña de Mora, mientras que en la ciudad de Caracas, los Esquistos de Las Mercedes y los Esquistos de Las Brisas constituyen el principal lecho rocoso debajo de los depósitos cuaternarios. (Figura 4-1).

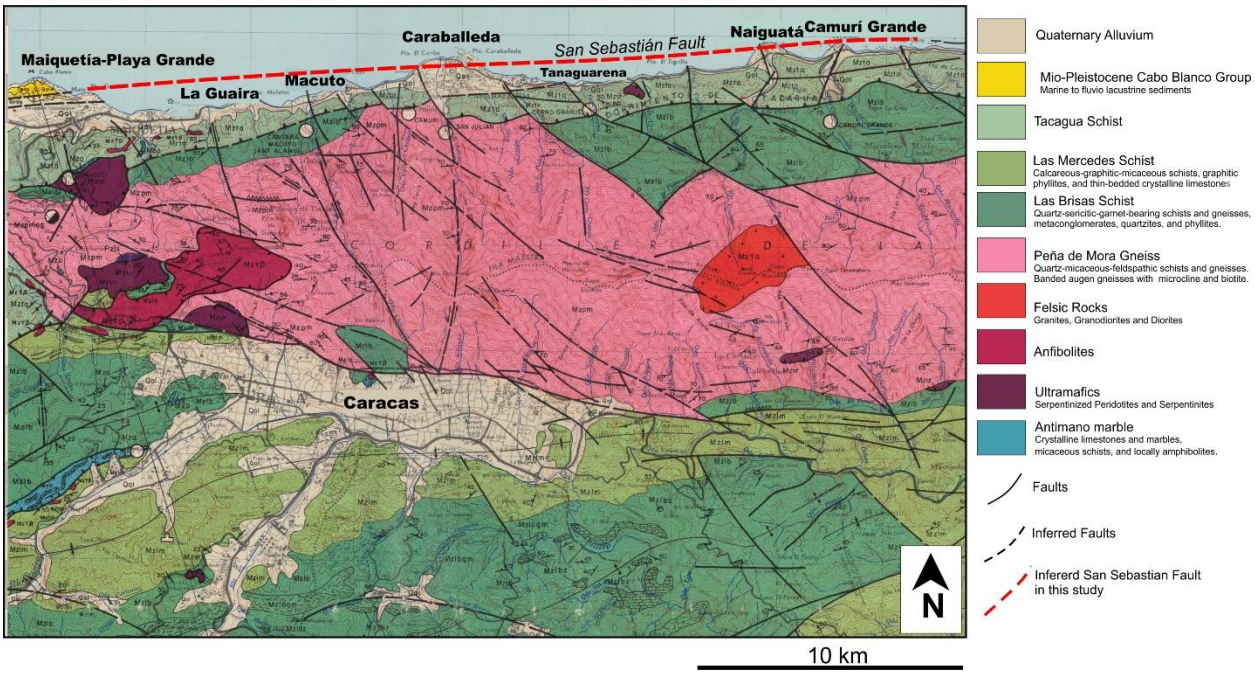


Figura 4-1. Mapa geológico de la región de Caracas. Adaptado de la Dirección General Sectorial de Minas y Geología (1986). Se destacan las zonas más afectadas por los terremotos del 24 de junio de 2026. La ubicación de la falla de San Sebastián propuesta se basa en los resultados que se analizan en este informe.

La zona de Maiquetía, Playa Grande y Catia La Mar se caracteriza por la presencia de colinas adyacentes a la línea de costa, con cuencas hidrográficas estrechas y una serie de terrazas marinas preservadas a diferentes alturas. Estas terrazas reflejan episodios complejos y recurrentes de erosión costera, inundaciones, flujos de detritos, elevaciones del terreno y fluctuaciones del nivel del mar durante el Cuaternario. El drenaje está controlado por quebradas relativamente cortas y de gran pendiente que transportan rápidamente sedimentos desde las partes altas de la cordillera hasta la costa durante las lluvias estacionales.

La secuencia sedimentaria se agrupa en el Grupo Cabo Blanco, que comprende varias unidades sedimentarias que abarcan desde el Mioceno medio hasta el Cuaternario. La unidad más antigua, la Formación Las Pailas, consta de conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas interpretadas como depósitos continentales a marinos marginales. Posteriormente, estos estratos sufrieron deformación y erosión antes de la depositación de la Formación de Playa Grande que yace suprayacente a la Formación Las Pailas. La Formación de Playa Grande contiene areniscas marinas fosilíferas, limolitas, conglomerados, fragmentos de conchas y depósitos arrecifales indicativos de ambientes marinos poco profundos (Weinsbord, 1957, Bermúdez y Fuenmayor, 1962). Seguidamente, La Formación Mare yace discordante sobre la Formación Playa Grande y está compuesta principalmente por areniscas marinas ricas en fósiles, depositadas en ambientes costeros. Posteriormente, sobre la Formación Mare, se encuentran los depósitos consolidados más recientes pertenecientes a la Formación Abisinia, la cual está conformada por sedimentos cuaternarios de terrazas aluviales compuestos de arcilla, limo, arena, grava y, localmente, depósitos carbonáticos que contienen corales. Los depósitos aluviales, de playa y de terraza

holocenas representan la etapa más reciente de acumulación de sedimentos en la zona (Weinsbord, 1957).

La geología estructural del área de Maiquetía-Playa Grande está dominada por un monoclinal costero y una zona compleja de fallas activas con orientación predominantemente este-oeste que afectaron la sucesión sedimentaria durante y después de la deposición del Grupo Cabo Blanco. Weisbord (1957) cartografió la falla de Bruscas como la principal zona de falla terrestre observada en la en el area. La falla de Bruscas se interpreta como una falla inversa de alto ángulo con orientación este-oeste, asociada a un plegamiento complejo, que se extiende desde Catia La Mar hasta Mare. Adicionalmente, La "falla de la Costa" —descrita por Urbani (2000) como la falla de San Sebastián— representa una falla transcurrente dextral con un componente normal a lo largo del margen sur de la cobertura sedimentaria, y es inferida por el contacto entre la sección sedimentaria y el lecho rocoso metamórfico. inclinación hacia el sur. Según Weinsbord (1957), la Formación Playa Grande presenta una fuerte deformación, mostrando una serie de anticlinales, con estratificaciones medidas de hasta 56 grados con inclinación hacia el sur. Esta deformación indica múltiples episodios de acortamiento y levantamiento tectónico durante los últimos cinco millones de años, posiblemente inducidos por la actividad de la falla de San Sebastián.

La mayor parte de los daños observados en el estado de La Guaira luego de los sucesos del 24 de junio de 2026 se produjeron en edificios ubicados sobre abanicos aluviales del Holoceno. Los abanicos aluviales Holocenos constituyen la principal cubierta sedimentaria en las estribaciones de la Cordillera de La Costa, incluyendo la mayor parte de las zonas afectadas por terremotos, como Caraballeda, Macuto, Tanaguanera y partes de La Guaira, Maiquetía y Catia La Mar. Los depósitos de flujos de detritos alcanzan su máximo espesor inferido en la zona de Caraballeda, superando los 400 metros en el sector noreste (García et al. 2023). Se han estimado espesores mayores de 250 metros en Macuto, mientras que los depósitos en La Guaira alcanzan localmente hasta 250 metros (García et al. 2023). El abanico aluvial de Caraballeda es un sistema depositacional complejo influenciado por la tectónica local, y formado por la interacción de procesos aluviales y marinos. Su arquitectura sedimentaria registra una transición desde depósitos de abanicos aluviales proximales hasta ambientes costeros y lagunares distales, mientras que su morfología refleja los efectos combinados de la acumulación de sedimentos y la tectónica activa (Castilla y Audermard, 2000). En este contexto, los paleoambientes costeros observados en el noreste de Caraballeda pudieran incluir extensas capas de arena propensas a la licuación inducida durante el sismo del 24 de junio de 2026.

Todos los abanicos aluviales del estado de La Guaira se superponen al basamento rocoso metamórfico de la Unidad de Esquisto de Tacagua, compuesta predominantemente de cuarzo y muscovita, con presencia menor pero constante de grafito, así como cantidades variables de calcita y/o albita (Urbani, 2000).

Los centros poblados de La Guaira no se han visto afectados únicamente por terremotos. Todas estas zonas costeras se vieron afectadas previamente por un importante evento regional de flujo de detritos (deslave) que ocurrió en diciembre de 1999, donde se depositaron aproximadamente 2 millones de metros cúbicos durante el evento de inundación en Caraballeda, ampliamente descrito en Weiczorek et al. (2002). Los registros históricos indican que eventos hidrológicos similares que provocaron graves inundaciones, deslizamientos y flujos de detritos ocurrieron en esta región en febrero de 1798, agosto de 1912, enero de 1914, noviembre de 1938, mayo de 1944, noviembre de

1944, agosto de 1948 y febrero de 1951 (Röhl, 1950; Salcedo, 2000 en Weiczorek et al., 2002). La alta frecuencia de flujos de detritos e inundaciones, junto con el período de retorno de aproximadamente 60 años para los terremotos destructivos, hace que esta zona sea un lugar sumamente complejo para la construcción y el desarrollo de infraestructuras. En el capítulo 10 se incluyen análisis más detallados sobre estas interacciones relevantes entre los riesgos geológicos.

4.4 Aspectos generales sobre la geolog í a del Valle de Caracas.

Caracas fue la segunda región con mayor afectación luego de los terremotos del 24 de junio de 2026. Varias edificaciones sufrieron graves daños y nueve colapsaron. La mayor parte de los daños se observaron en urbanizaciones del norte de Caracas. Las condiciones del subsuelo del Valle de Caracas son producto de una compleja historia cuaternaria caracterizada por la deformación tectónica, fases repetidas de acumulación de sedimentos y procesos episódicos de transporte masivo de sedimentos (Singer et al. 2021) que se superponen al complejo basamento rocoso metamórfico de la Cordillera de La Costa (Urbani, 1997). La cartografía geológica, tal como se incluye en Singer et al. (2021), muestra que el valle de Caracas comprende conjuntos heterogéneos de depósitos aluviales, coluviales, lacustres y de flujo de detritos de edad y espesor variables, cuya distribución está fuertemente controlada por el levantamiento y la subsidencia relacionados con fallas activas asociadas al sistema de fallas de Tacagua-El Ávila (Figura 4-2). Esta actividad tectónica reciente ha generado cambios laterales significativos en el espesor de los sedimentos, la arquitectura estratigráfica y los entornos de depositación en toda la cuenca, lo que ha dado lugar a una variabilidad sustancial en las propiedades geotécnicas del suelo.

La secuencia sedimentaria cuaternaria registra múltiples episodios de inestabilidad de las laderas y alteración del drenaje que produjeron extensos depósitos de flujos de detritos y anegamientos localizados en las cuencas. Estos procesos llevaron a la acumulación de gruesas secuencias sedimentarias lacustres y de grano fino en las zonas bajas del valle, mientras que los depósitos aluviales y torrenciales más gruesos predominan en los sectores proximales del piedemonte (Oropeza y Singer, 2015). Áreas como Los Palos Grandes, Altamira y San Bernardino están compuestas por depósitos de flujos de detritos con un espesor máximo de aproximadamente 350 m en el área de Los Palos Grandes (Schmitz et al., 2020).

Se prevé que la heterogeneidad estratigráfica resultante genere contrastes pronunciados en las propiedades geotécnicas, incluyendo rigidez, compresibilidad, las características de propagación de ondas de corte y la susceptibilidad a asentamientos diferenciales. En consecuencia, la distribución espacial de estos depósitos representa un factor clave para evaluar los efectos sísmicos del sitio y el desempeño geotécnico del subsuelo en toda el área metropolitana. La actividad geomorfológica del Holoceno modificó aún más el fondo del valle mediante flujos de detritos a gran escala, la agradación de la llanura de inundación, la desviación de cauces y la redistribución de sedimentos. La evidencia de obstrucciones repetidas del drenaje y la acumulación rápida de sedimentos demuestra que los procesos geomórficos catastróficos han jugado un papel importante en la configuración del paisaje moderno y continúan representando un componente importante de la evaluación de los riesgos geológicos regionales (Singer et al. 2021). Desde una perspectiva de ingeniería, el marco cuaternario del Valle de Caracas resalta la necesidad de tener en cuenta las transiciones litológicas abruptas, los paleocanales enterrados, las condiciones variables del agua subterránea y las acumulaciones localizadas de sedimentos lacustres blandos al evaluar el diseño

de las fundaciones de las edificaciones, la respuesta sísmica del terreno y la resiliencia de la infraestructura.

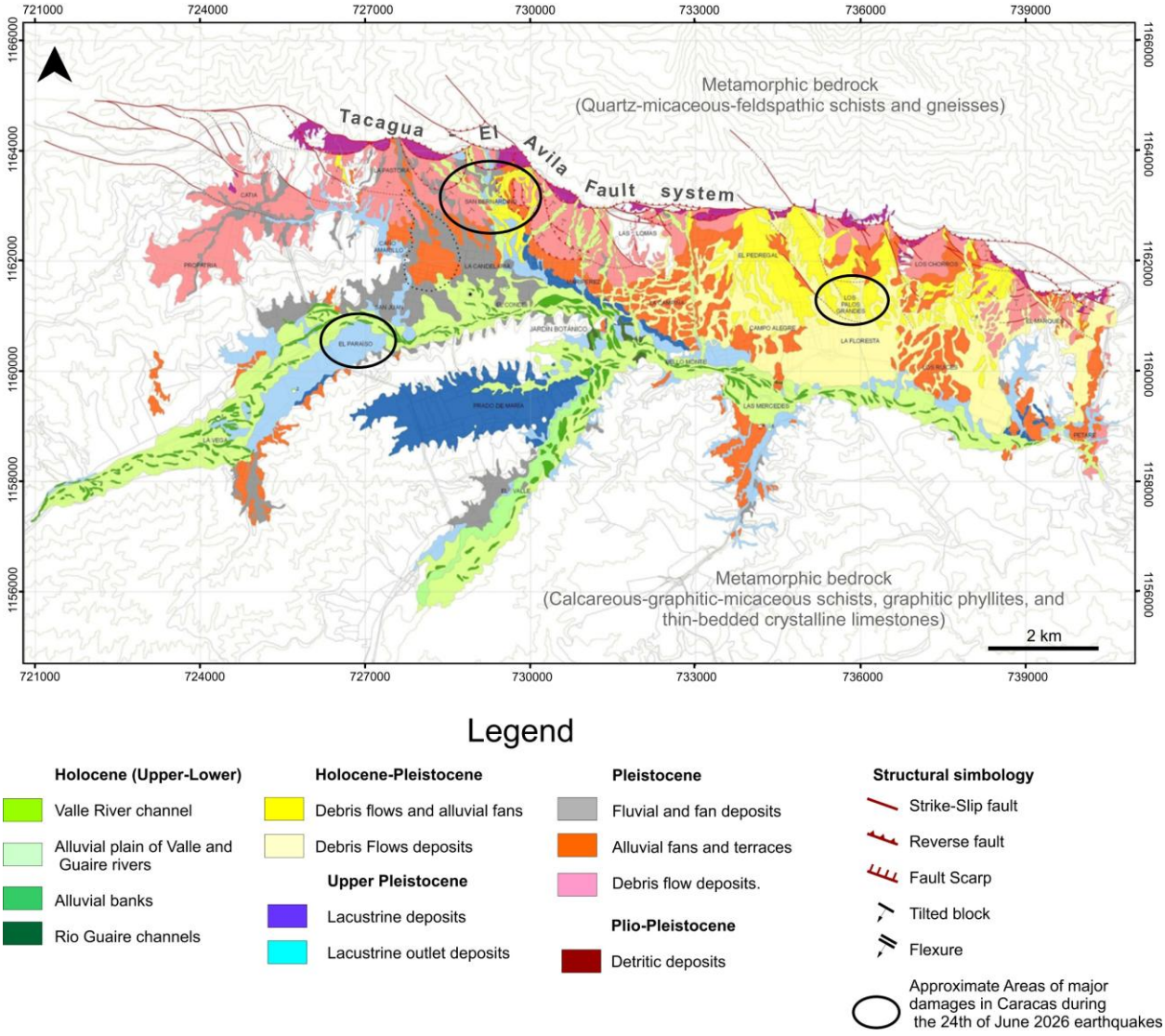


Figura 4-2. Mapa geológico del valle de Caracas. Modificado y adaptado de Singer et al. (2021) y Oropeza y Singer (2015). Las zonas que sufrieron daños importantes luego de los terremotos del 24 de junio de 2026 están marcadas con círculos negros.

4.5 Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Dr. Franco Urbani, al Dr. Marvin Baquero y a Javier Oropeza por recopilar y compartir valiosa información de primera mano, mapas y documentos durante los primeros días posteriores al terremoto. Un agradecimiento especial al profesor José Regeiro por su tiempo y por la charla sobre las características de los terremotos. Agradecemos al Dr. Michael Schmitz por brindar información útil para apoyar la logística en el terreno. Gracias al Profesor Crisanto Silva (Universidad Simón Bolívar) y Mauricio Hernández (Universidad Central de

Venezuela) por compartir y discutir sus observaciones de campo y por su disposición a colaborar en medio de esta inmensa tragedia.

4.6 Referencias

Bermúdez, P. y Fuenmayor, A., 1962. Notas sobre los foraminíferos del Grupo Cabo Blanco, Venezuela Boletín Informativo, vol. 5 N° 1, enero de 196.

Oropeza, J. y Singer, A., 2015. Propuesta geológica de microzonas sísmicas para la ciudad de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 30(2, 109-120.

Singer, A., Zambrano, A. y Tagliaferro, JOM, 2012. IX Congreso Geológico Venezolano.

Urbani, F., Ge 2000. Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre 1999.Geos, 35, 13-22.

Urbani Patat Franco (Editor), 2025 Geología de la Región Septentrional de Venezuela. Volumen 1. Evolución del conocimiento geológico y síntesis de los terrenos tectonoestratigráficos. Caracas: Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat y Fundación Geos – UCV. xxvi + 1.091 págs.

Urbani, F.O., Contreras, L., García de los Salmones, I., Sabino, A., Aranguren, R., Uzcátegui, R., and Baena, J., 1997, Cartografía geológica de flanco sur del macizo de El Avila desde Maripérez hasta Izcaragua, Cordillera de la Costa, D.F. y estado Miranda Venezuela: Mem. VIII Congr. Geol. Venezolano, Porlamar, v. 2, p. 463–468.

Urbani Patat, F., 2026. Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela: Recopilación de mapas e información geocientífica, V.2. Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781. Caracas, Nº 71 abril-junio 2026. Suplemento Especial S4, págs. 643-717. https://n2t.net/ark:/42414/banih/712026/142.

Weisbord, N.E., 1957. Notes on the Cabo Blanco Area, Venezuela: Bulletins of American Paleontology, v. 38, no. 165, p. 1–51.

Wieczorek, G.F., Larsen, M.C., Eaton, L.S., Morgan, B.A., and Blair, J.L., 2002. Debris-flow and flooding deposits in coastal Venezuela associated with the storm of December 14–16, 1999 [Depósitos de flujos de detritos e inundaciones en la costa de Venezuela asociados con la tormenta del 14 al 16 de diciembre de 1999]. U.S. Geological Survey Geologic Investigations Series Map I–2772, 2 sheets, scale 1:25,000. Preparado en cooperación con la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Reston, VA: U.S. Geological Survey.

5. SISMICIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE SÍSMICA

Tabla 5-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Shiying Nie	Científica sénior especializada en sismología en Karen Clark & Company, EE. UU.

5.1 Resumen

El norte de Venezuela se encuentra dentro de una amplia zona transpresiva de límite de placas entre las placas del Caribe y de Sudamérica. La principal estructura dextral es el sistema de fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar; el sistema Oca-Ancón es un importante sistema dextral secundario en el noroeste de Venezuela (Audemard et al., 2000, 2006). El primer sub-evento (de magnitud 7.2) se originó en la región de la fuente occidental, donde el mapa de fallas regionales muestra el sistema Boconó con rumbo noreste acercándose al sistema San Sebastián aproximadamente en dirección este-oeste (Figura 1-2). El ramal que albergó el sub-evento inicial y la geometría de la transferencia siguen siendo inciertos (USGS, 2026a, 2026b).

Los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela fueron dos grandes sub-eventos de desplazamiento lateral separados por aproximadamente 29.6 segundos en el catálogo actual del USGS y 33.2 segundos en el catálogo GFZ/GEOFON. Las soluciones actuales del tensor de momento del USGS y del GFZ sitúan el primer origen en la región fuente occidental y el hipocentro de magnitud 7.5 frente a la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar. La solución de falla finita del USGS representa el desplazamiento secuencial en dos segmentos de fuerte buzamiento utilizando restricciones sísmicas, de InSAR y de GNSS. La secuencia espacial y la información sobre la fuente rápida coinciden en general con una progresión de la fuente de oeste a este, aunque la velocidad de ruptura y la trayectoria de transferencia siguen siendo inciertas. Entre las posibles vías de transición se incluyen la transferencia entre los sistemas de fallas de Boconó y San Sebastián y la participación de ramales paralelos o ramificados. La correlación de imágenes ópticas identifica una posible deformación tectónica cercana a la superficie en La Guaira, mientras que la señal de Caraballeda es más consistente con el desprendimiento lateral o el desplazamiento gravitacional. La progresión hacia el este hace plausible la directividad, pero también es necesario evaluar la proximidad de la fuente y la respuesta de la cuenca de Caracas. Para separar estos efectos, se necesitan grabaciones locales, observaciones de campo y modelos específicos para cada evento.

5.2 Cronología de eventos y evolución de las soluciones de la fuente

Los catálogos actuales identifican dos sub-eventos principales separados por unos 30 segundos. Los orígenes actuales del USGS y GEOFON sitúan el primer sub-evento en la región de origen occidental y el segundo en la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar. Las soluciones del tensor de momento indican fallas predominantemente de desplazamiento lateral para ambos sub-eventos y, junto con sus tiempos de origen relativos, favorecen una progresión de la fuente de oeste a este,

aunque los ramales de falla particulares y la trayectoria de transferencia siguen siendo inciertas (GFZ Helmholtz Centre for Geosciences, 2026c; USGS, 2026a, 2026b, 2026c). El catálogo Global Centroid Moment Tensor (GCMT) ofrece una solución única para un evento de magnitud 7.5 (Global CMT Project, 2026).

El catálogo actual del USGS caracteriza la secuencia como un evento de magnitud 7.2 en 10.4085°N, 68.5571°O y 22:04:34.363 UTC, seguido de un evento de magnitud 7.5 en 10.6221°N, 67.1935°O y 22:05:03.992 UTC. Los orígenes del catálogo actual están separados por aproximadamente 29.6 segundos. Las soluciones anteriores del USGS ubicaban los epicentros de los terremotos de magnitud 7.2 y 7.5 cerca uno del otro en la región de la fuente occidental; la solución actual (actualizada el 28 de julio de 2026) reubica el hipocentro del terremoto magnitud 7.5 hacia el este, cerca de Catia La Mar (USGS, 2026b, 2026c). La solución se desarrolló a lo largo de 33 días.

La instantánea del catálogo del USGS reproducida por Hubbard y Bradley (2026) se muestra en la Figura 5-1. Se muestra la estimación inicial de la ubicación del epicentro correspondiente al terremoto de magnitud 7.5, así como las ubicaciones de los eventos de magnitud 7.2 y magnitud 4 o superior hasta el 1 de julio de 2026. La Figura 5-2 presenta una versión actualizada del pronóstico de réplicas elaborado por el USGS (último acceso: 5 de agosto de 2026). La Figura 5-3 también ilustra la estimación actual de la ubicación del epicentro del terremoto de magnitud 7.5 según el USGS.

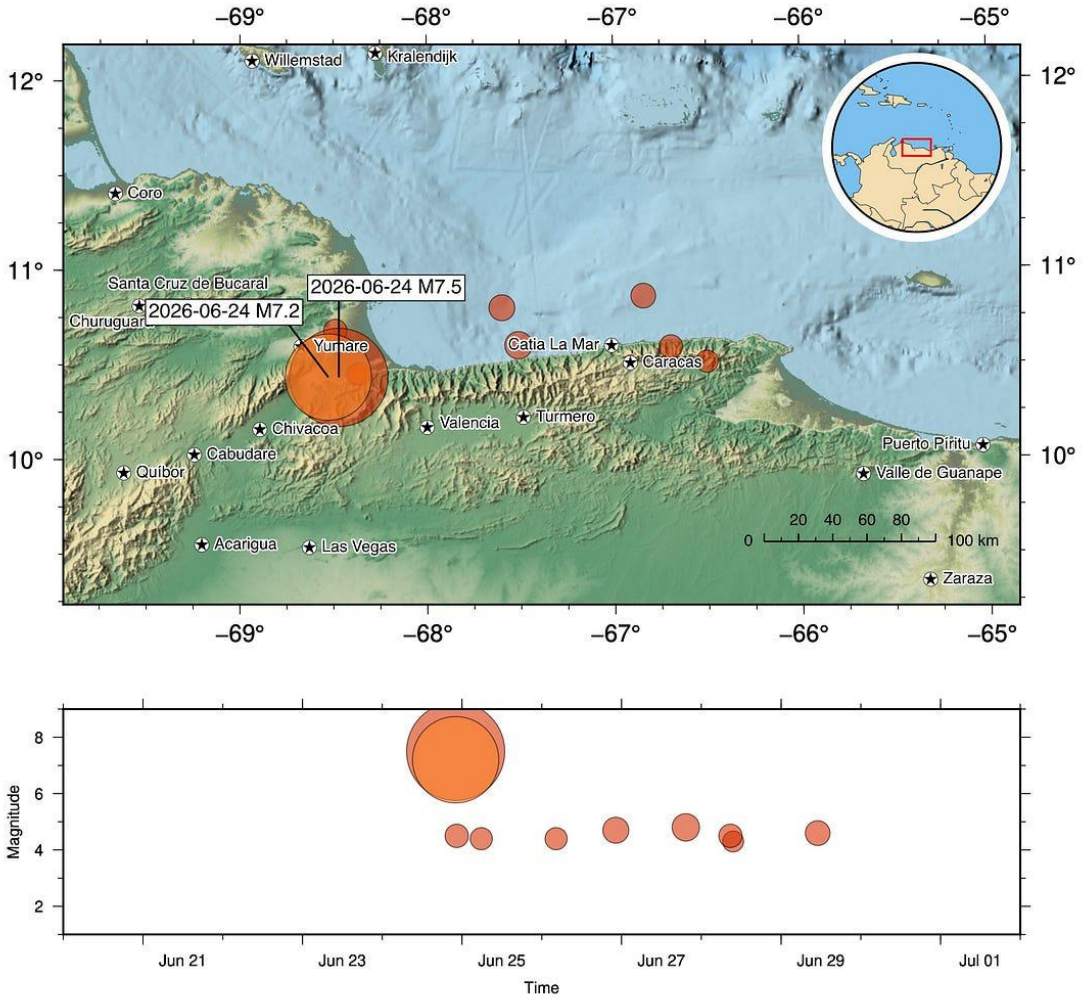


Figura 5-1. Instantánea del catálogo del USGS reproducida por Hubbard y Bradley (2026), que muestra las ubicaciones iniciales informadas para los terremotos de magnitud 7.2 y 7.5 y los eventos de magnitud 4 o superior hasta el 1 de julio de 2026; el panel inferior refleja la magnitud en función del tiempo. Las dos ubicaciones de grandes sismos que aparecen en esta instantánea han sido reemplazadas; el catálogo actual del USGS sitúa el hipocentro del sismo de magnitud 7.5 frente a la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar.

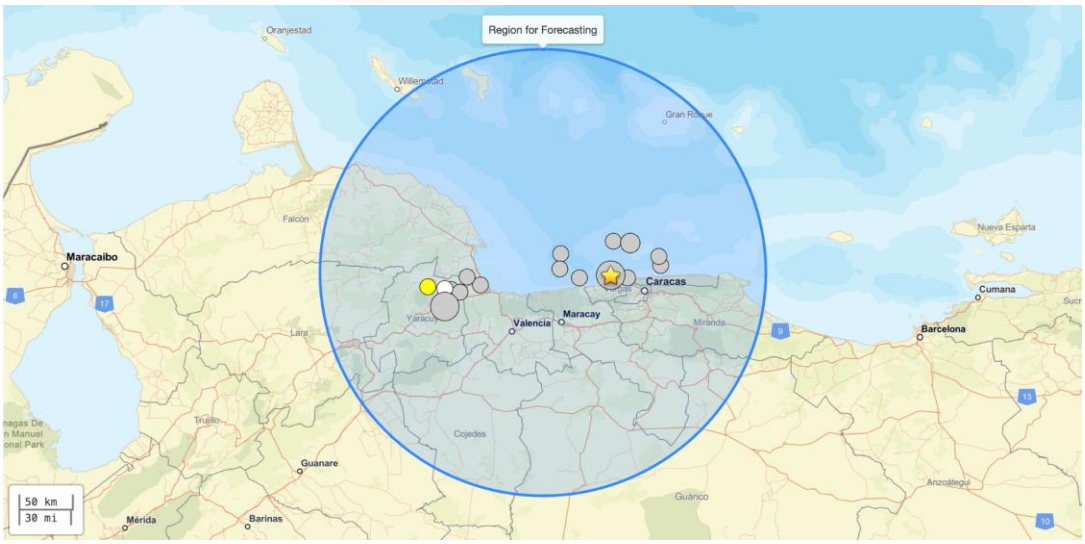


Figura 5-2. Instantánea reproducida de la proyección de réplicas del USGS (último acceso: 5 de agosto de 2026). Los colores indican las réplicas que han ocurrido en la última semana (amarillo), el último mes (blanco) o hace más de un mes (gris). La ubicación actualizada del epicentro de magnitud 7.5 se muestra con una estrella.



Figura 5-3. Ubicaciones actualizadas del catálogo del USGS de los terremotos de magnitud 7.2 y 7.5, que muestran el epicentro occidental del terremoto de magnitud 7.2 y el epicentro oriental del terremoto de magnitud 7.5 frente a la costa de La Guaira, cerca de Catia La Mar. Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026b, 2026c).

Los registros de eventos de GEOFON (GFZ Helmholtz Centre for Geosciences, 2026a, 2026b) ubican el primer sub-evento en 10.41°N, 68.52°W y 22:04:32.3 UTC y el segundo en 10.69°N, 67.10°W y 22:05:05.5 UTC, lo que da un intervalo de tiempo de origen de 33.2 segundos (Figura 5-4). Los epicentros actuales del segundo sub-evento (de mayor magnitud), según el USGS y GEOFON, están separados aproximadamente 13 km (GFZ 2026a, 2026b; USGS, 2026c). El

informe de estado del GFZ señala que la superposición de las ondas sísmicas dificulta la determinación de la magnitud y la ubicación de la segunda fuente, y considera que la secuencia es físicamente compatible con un terremoto que involucra dos sub-rupturas importantes (GFZ 2026c).

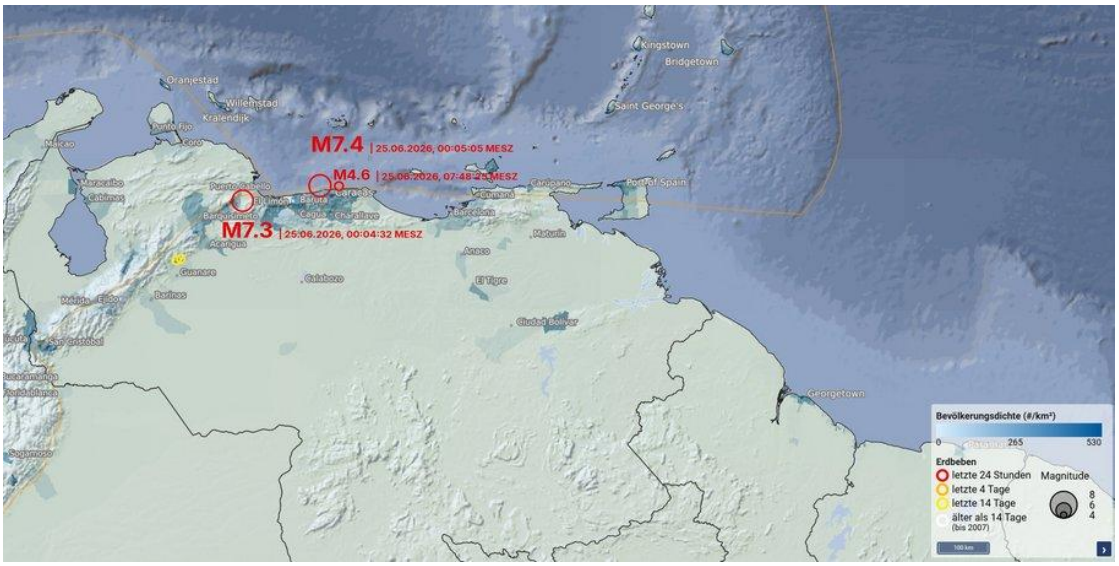


Figura 5-4. Ubicación de los terremotos del norte de Venezuela del 24 de junio de 2026 y una réplica temprana de magnitud 4.6, según lo informado por GFZ/GEOFON. Instantánea reproducida del GFZ Helmholtz Centre for Geosciences (2026c); orígenes actuales del USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026b, 2026c).

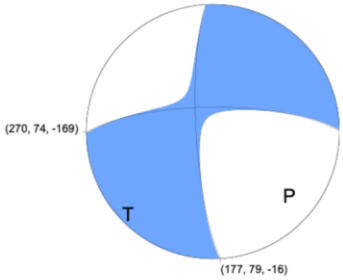
Las soluciones de tensor de momento de ambas agencias ofrecen una comparación adicional de los dos sub-eventos. No obstante, las magnitudes informadas, las profundidades de la fuente y los parámetros del centroide difieren.

Tabla 5-2. Comparación entre las soluciones de fuente y los productos de ruptura actuales y anteriores.

Fuente/producto	Representación del evento	Resultado de la ubicación/mecanismo de la fuente principal
Catálogo del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2026b, 2026c)	Orígenes del catálogo actual y los tensores de momento de fase W	Orígenes separados por 29.6 segundos: M7.2 al oeste y M7.5 cerca de Catia La Mar. Predominantemente de desplazamiento lateral; la interpretación del plano nodal de fuerte buzamiento este-oeste es de desplazamiento lateral derecho
Registros de eventos de GEOFON (GFZ Helmholtz	Orígenes del catálogo y los tensores de momento estándar de GEOFON	Orígenes separados por 33.2 segundos: el primero al oeste y el segundo frente a la costa de

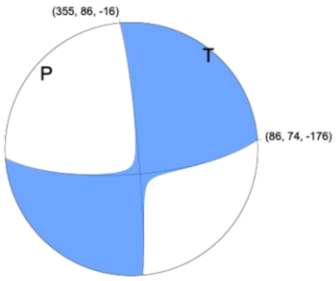
Fuente/producto	Representación del evento	Resultado de la ubicación/mecanismo de la fuente principal
Centre for Geosciences, 2026a, 2026b)		La Guaira, cerca de Catia La Mar. Predominantemente de desplazamiento lateral; la interpretación del plano nodal de fuerte buzamiento este-oeste es de desplazamiento lateral derecho
Catálogo de Global CMT (Global CMT Project, 2026)	Solución de tensor de momento de centroide único asociada al sub-evento de magnitud 7.5	Centroide en 10.59°N, 67.30°O y 12 km de profundidad; Mecanismo predominantemente de desplazamiento lateral; no hay solución GCMT separada para el sub-evento precedente.
Modelo de falla finita del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2026a)	Representación de fallas finitas del desplazamiento relacionado con la secuencia utilizando restricciones sísmicas, de InSAR y de GNSS	Dos segmentos de fuerte buzamiento (aproximadamente 81°/78° y 86°/78°); Evento 1 occidental y Evento 2 oriental; desplazamiento máximo modelado de aproximadamente 1.8 m
Inversión IREA-CNR/INGV InSAR (INGVterremoti, 2026)	Modelo preliminar de fuente geodésica basado en los interferogramas de Sentinel-1	Modelo preliminar de fuente casi vertical, lateral derecho, que se extiende aproximadamente 180 km, con dos regiones de desplazamiento principales
Síntesis por retroproyección (EarthScope Consortium, 2026)	Producto de retroproyección rápida generado automáticamente y sin revisión.	Las ubicaciones de máxima potencia del haz representadas gráficamente tienden en general hacia el este; la interpretación depende de la geometría del arreglo y la resolución del procesamiento

M 7.2:



Moment	7.277e+19 N-m
Magnitude	7.17 Mww
Depth	11.5 km

M 7.5:

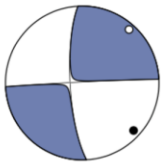


Moment	2.122e+20 N-m
Magnitude	7.48 Mww
Depth	23.5 km

Figura 5-5. Soluciones del tensor de momento de fase W del USGS para los sub-eventos M7.2 y M7.5. Los valores que se muestran junto a los planos nodales son el rumbo, el buzamiento y el deslizamiento; la magnitud del momento sísmico informada y la profundidad del centroide se enumeran debajo de cada mecanismo focal. Recopilado a partir de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026b, 2026c).

M 7.3:

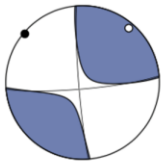
GEOFON standard[1]



Time	2026-06-24 22:04:32		
Magnitude	7.3		
Latitude	10.41°N		
Longitude	68.52°W		
Depth	12 km		
Nodal planes	Strike	Dip	Rake
	176°	77°	-1°
	267°	88°	-167°

M 7.4:

GEOFON standard[1]



Time	2026-06-24 22:05:05		
Magnitude	7.4		
Latitude	10.69°N		
Longitude	67.10°W		
Depth	13 km		
Nodal planes	Strike	Dip	Rake
	175°	85°	6°
	85°	83°	175°

Figura 5-6. Soluciones estándar del tensor de momento de GFZ/GEOFON para los sub-eventos M7.3 y M7.4, incluyendo el origen del evento, la ubicación de la fuente, la profundidad de la fuente y el

rumbo, buzamiento y deslizamiento de ambos planos nodales. La solución estándar de GEOFON utiliza ondas de cuerpo y de superficie. Recopilado a partir de los registros de eventos de GEOFON (GFZ Helmholtz Centre for Geosciences, 2026a, 2026b; CC BY 4.0).

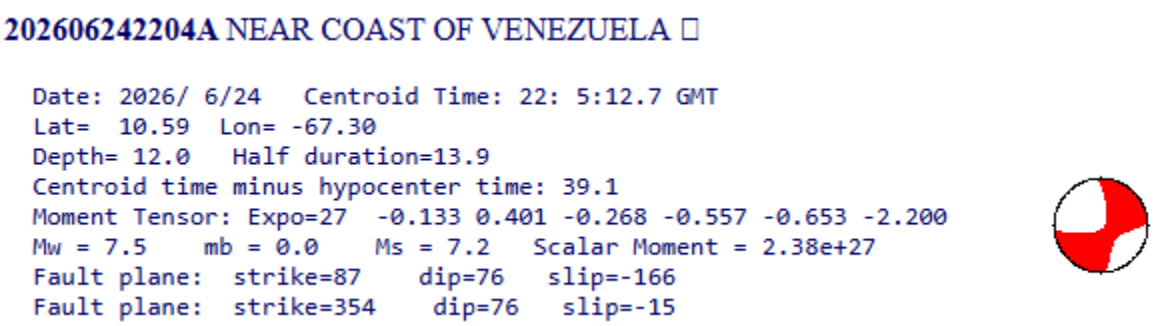


Figura 5-7. Información del catálogo de GCMT y solución del tensor de momento para el evento M7.5.

El catálogo de GCMT proporciona una única solución para el sub-evento M7.5, con un centroide en 10.59°N, 67.30°W y 12 km de profundidad. La solución también indica fallas predominantemente de desplazamiento lateral; no se identificó ninguna solución separada de GCMT para el sub-evento precedente (Global CMT Project, 2026, Figura 5-7).

En cada solución del USGS, un plano nodal pronunciado, con orientación aproximada de este a oeste, tiene valores de rumbo/buzamiento/deslizamiento de 270°/74°/−169° para el sub-evento de magnitud 7.2 y de 86°/74°/-176° para el sub-evento de magnitud 7.5. Los planos de GFZ correspondientes son 267°/88°/−167° y 85°/83°/175°, respectivamente. La única solución de GCMT para el sub-evento de magnitud 7.5 tiene un plano nodal este-oeste comparable de 87°/76°/−166°; su plano conjugado es de 354°/76°/−15°. Por lo tanto, las tres agencias indican fallas pronunciadas: un buzamiento de aproximadamente 74° en las soluciones del USGS, de 83 a 88° en las soluciones del GFZ y de 76° en la solución del GCMT. En esos planos este-oeste, los ángulos de deslizamiento cercanos a ±180° son consistentes con un movimiento predominantemente lateral derecho y solo pequeños componentes oblicuos. Las soluciones coinciden con la ruptura en el sistema de fallas dextrales del norte de Venezuela (GFZ, 2026a, 2026b; USGS, 2026b, 2026c). En la Tabla 5-2 y en la Figura 5-5 a la Figura 5-7 se presentan comparaciones adicionales.

5.3 Evolución de la ruptura y geometría de la falla

Los análisis de retroproyección utilizan la energía coherente de ondas P de período corto registrada por los arreglos regionales o telesísmicos para rastrear la ubicación de la radiación de alta frecuencia a lo largo del tiempo (EarthScope Consortium, s.f.). Las ubicaciones de los máximos representados gráficamente en dos productos rápidos muestran una tendencia generalizada de oeste a este, en dirección a Caracas. El producto de EarthScope SPUD se genera automáticamente y no se ha revisado. La Figura 5-8 es un análisis separado. La interpretación depende de la geometría del arreglo, la resolución y los supuestos de procesamiento (EarthScope Consortium, 2026).

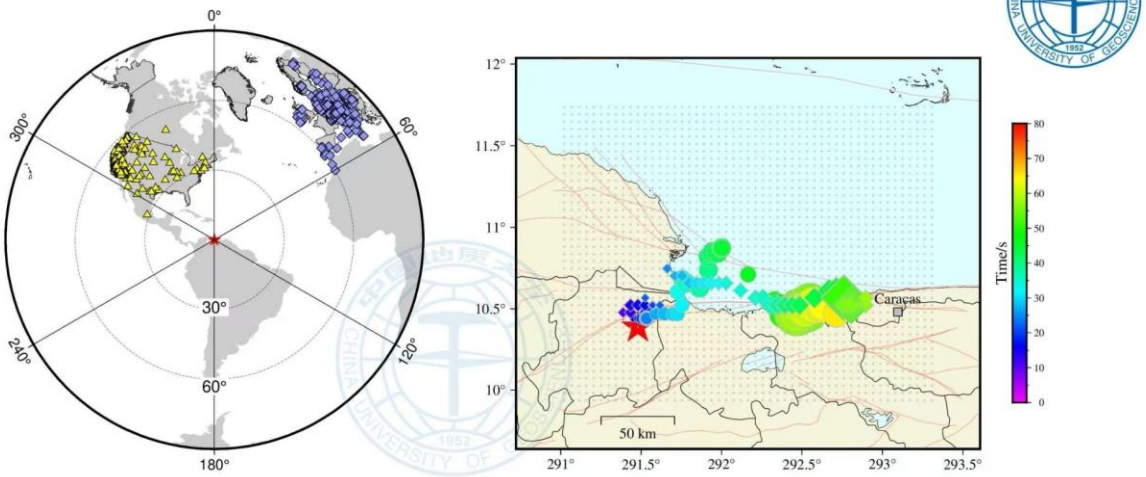


Figura 5-8. Imagen preliminar de retroproyección de los terremotos de Venezuela del 24 de junio de 2026. El panel izquierdo muestra la geometría del arreglo de estaciones, y el panel derecho muestra los máximos de retroproyección codificados en el tiempo, cuyas ubicaciones representadas gráficamente tienden generalmente hacia el este. Fuente: Dun Wang y colaboradores, China University of Geosciences, Wuhan.

Las Figura 5-9 y Figura 5-10 incluyen, respectivamente, el campo de deformación derivado de InSAR y el interferograma de Sentinel-1 que muestran la deformación del terreno asociada con los terremotos de Venezuela de junio de 2026. En la Figura 5-9, cada ciclo interferométrico completo representa aproximadamente 2.8 cm de desplazamiento de la línea de visión del satélite. En la Figura 5-10, el interferograma compara las adquisiciones de radar del 18 y el 25 de junio de 2026. El patrón de franjas indica una deformación que se extiende hacia el oeste desde Caracas hacia Puerto Cabello, con un desplazamiento preliminar en la línea de visión del orden de 30 cm.

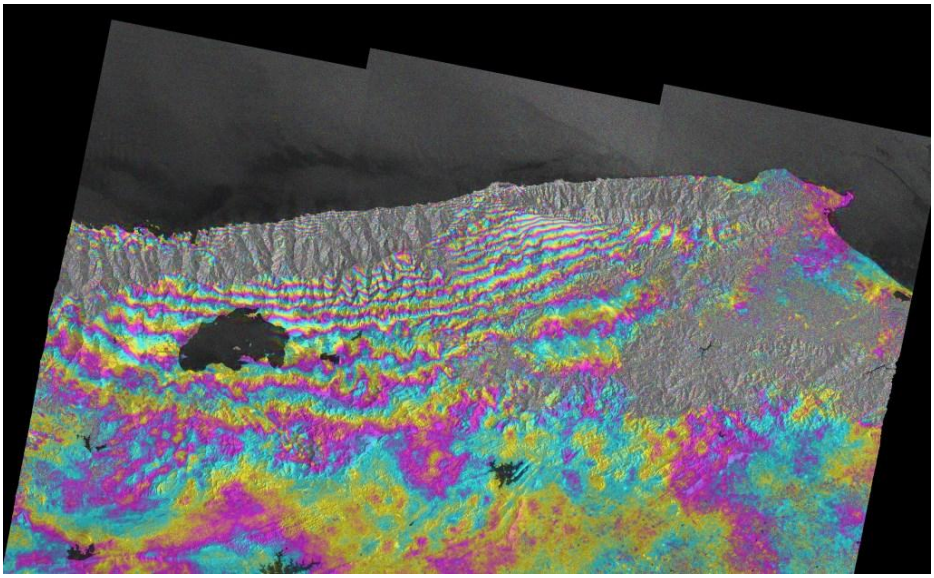


Figura 5-9. Campo de deformación derivado de InSAR asociado con la secuencia sísmica del 24 de junio de 2026 en Venezuela. Figura generada a partir de imágenes del satélite Copernicus Sentinel-1. Procesamiento de InSAR y modelado preliminar de la fuente: IREA-CNR e INGV; reproducido a partir de INGVterremoti (2026).

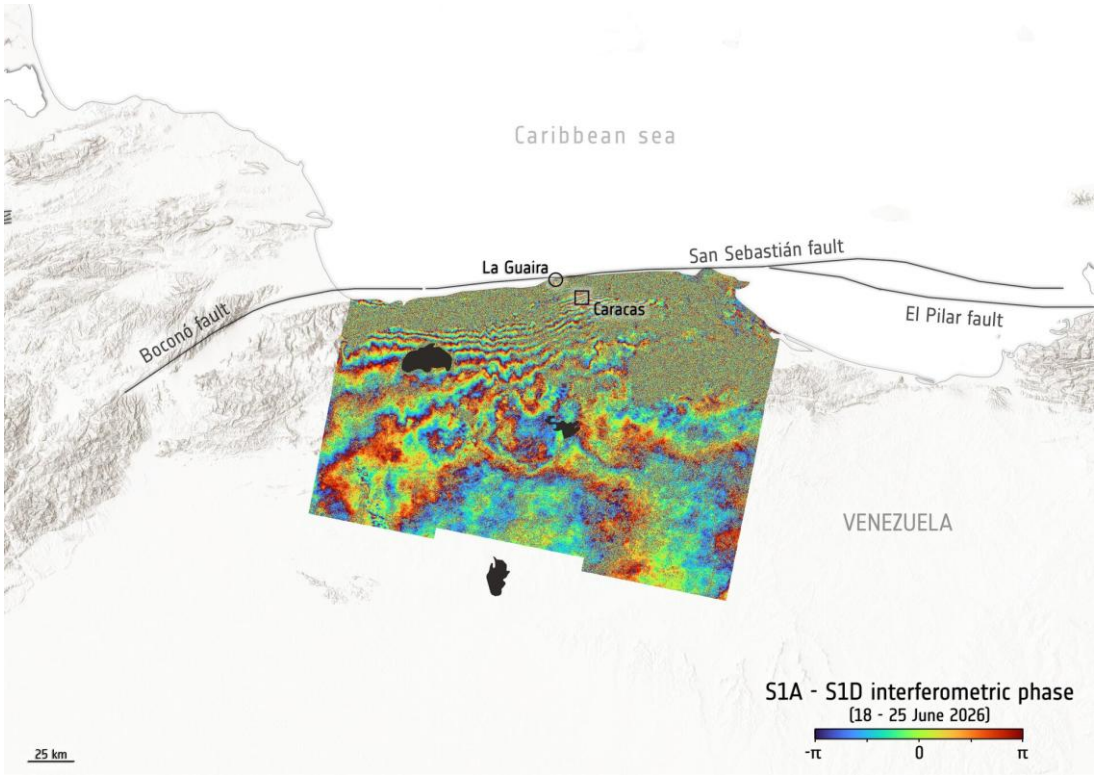


Figura 5-10. Interferograma del satélite Sentinel-1 que muestra la deformación del terreno asociada al doblete sísmico ocurrido en Venezuela el 24 de junio de 2026. Fuente: datos modificados del satélite Copernicus Sentinel-1 (2026), procesados por la Agencia Espacial Europea.

La Figura 5-11 muestra la versión del 27 de julio de 2026 del modelo de falla finita del USGS para los terremotos de Venezuela del 24 de junio de 2026. La solución de falla finita del USGS representa un desplazamiento relacionado con la secuencia en dos segmentos de desplazamiento lateral de fuerte buzamiento, con rumbos de aproximadamente 81° y 86° y un buzamiento de 78°. Muestra la ubicación de los eventos en el oeste y el este, y utiliza onda telesísmicas, InSAR y restricciones GNSS. La escala de desplazamiento representada gráficamente alcanza aproximadamente 1.8 m. La velocidad de ruptura y la falla específica que conecta las regiones modeladas de desplazamiento lateral occidental y oriental siguen siendo inciertas (USGS, 2026a).

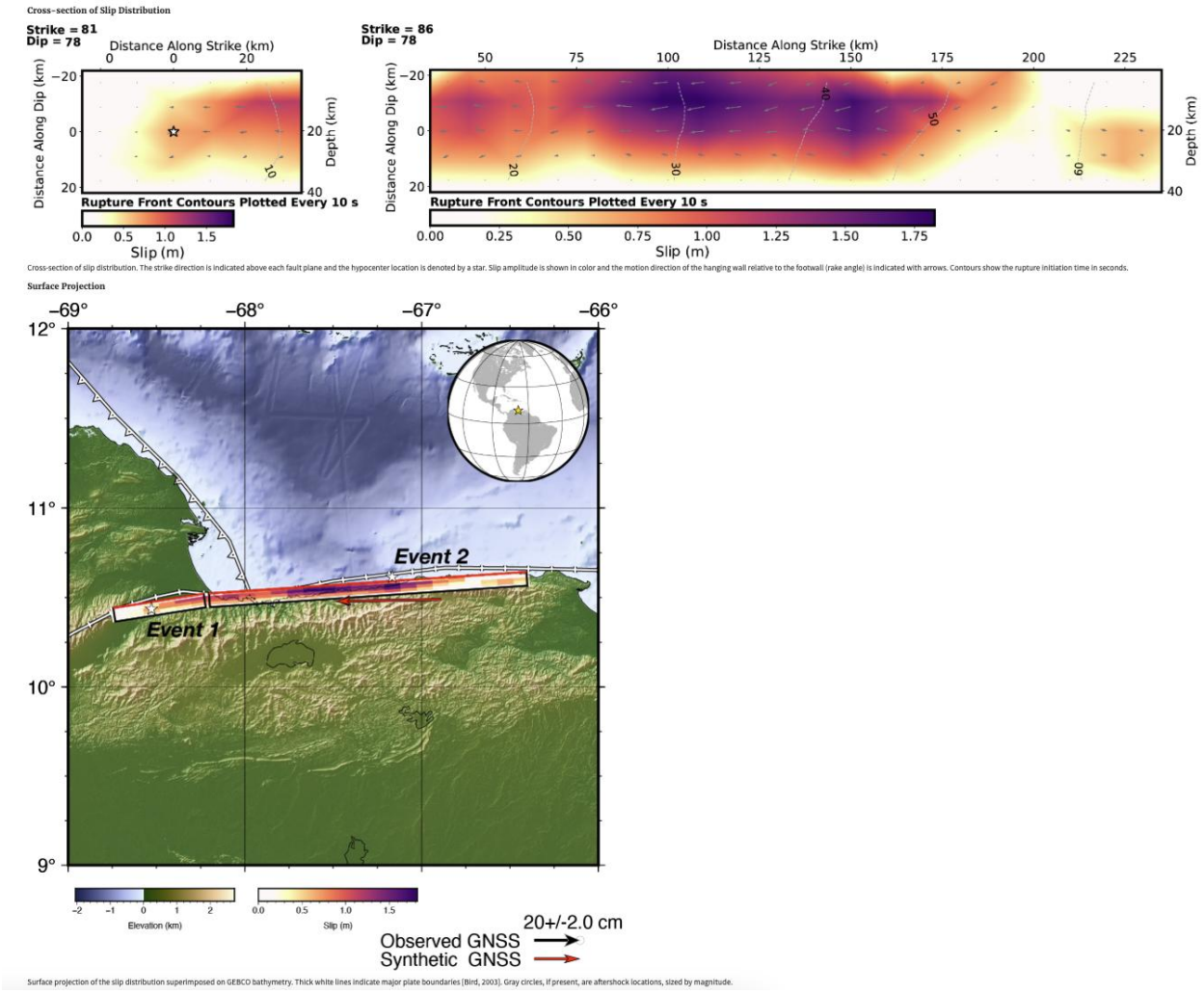


Figura 5-11. Modelo de falla finita del USGS para los terremotos de Venezuela del 24 de junio de 2026; actualizado el 27 de julio de 2026. Arriba: secciones transversales del desplazamiento lateral modelado en dos segmentos de falla, con rumbo y buzamiento del segmento, amplitud del desplazamiento, flechas que indican la dirección del desplazamiento, estrellas que señalan la ubicación del evento y contornos del frente de ruptura a intervalos de 10 segundos. Abajo: proyección de superficie que muestra la ubicación occidental del Evento 1 y oriental del Evento 2, el desplazamiento modelado, la geometría de la falla y los vectores de GNSS observados y sintéticos. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2026a).

La geometría regional permite la transferencia de la ruptura desde la falla de Boconó a la falla de San Sebastián, mientras que los ramales paralelos y la complejidad geométrica permiten otras trayectorias de transición (como también se analiza en el Capítulo 3). Los interferogramas y las inversiones de la fuente muestran un patrón general de deformación costera que abarca aproximadamente entre 180 y 210 km. Los productos Sentinel-1 de la ESA indican un desplazamiento en la línea de visión del orden de decenas de centímetros en una amplia región, mientras que el procesamiento de la investigación y las inversiones estiman un desplazamiento localizado mayor cerca de la costa (Audemard et al., 2000, 2006; Agencia Espacial Europea, 2026; INGVterremoti, 2026).

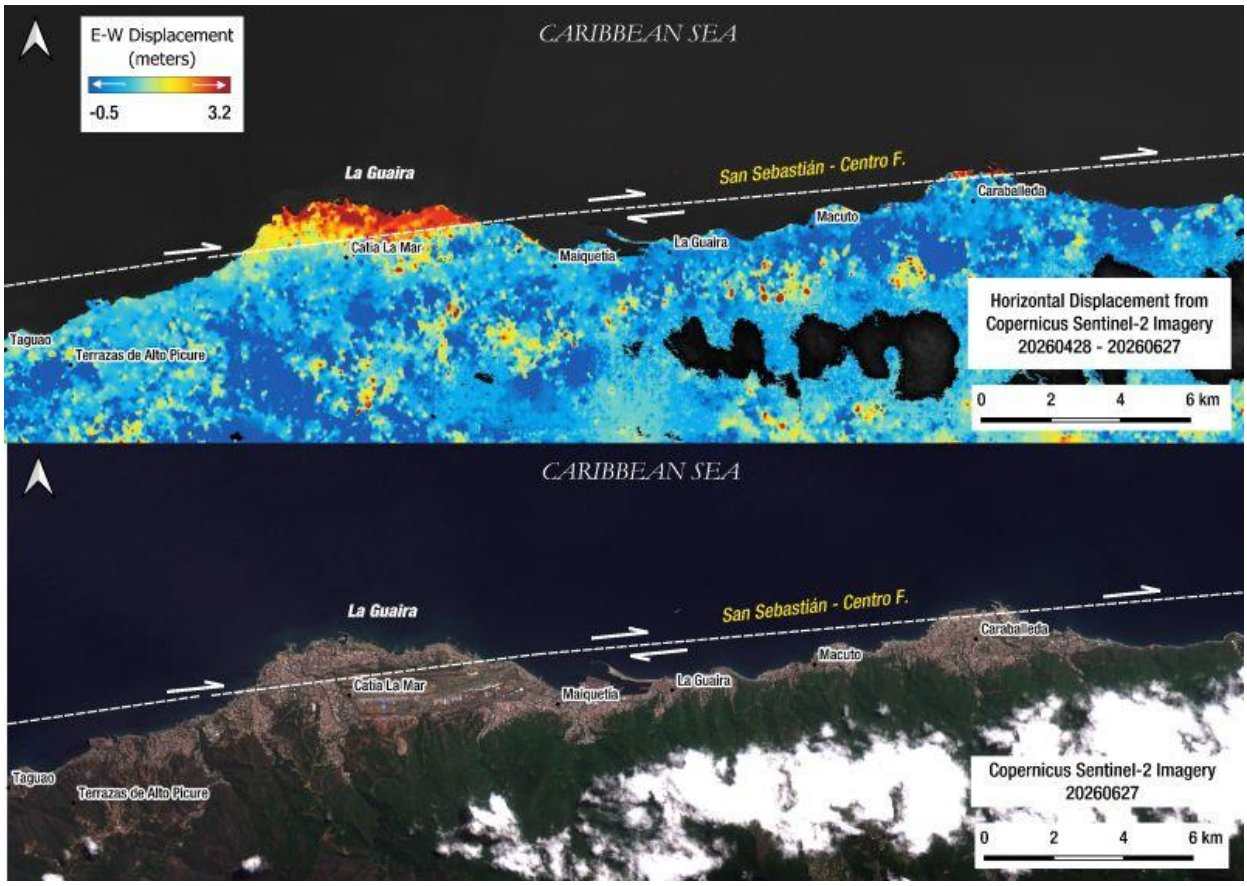


Figura 5-12. Campo de desplazamiento preliminar este-oeste a partir de la correlación óptica de imágenes de Copernicus Sentinel-2 anteriores y posteriores al evento a lo largo de la costa de La Guaira-Caraballeda. El autor de la fuente interpretó una señal dextral de aproximadamente 2 m en La Guaira y consideró que la continuación hacia Caraballeda era tentativa. Contiene datos modificados de Copernicus Sentinel-2 (2026); análisis y figura de Valkaniotis (2026a).

Valkaniotis (2026a) informó de una señal de desplazamiento de aproximadamente 2 m de este a oeste en La Guaira, consistente con una deformación superficial dextral, e indicó que era posible que se extendiera hacia Caraballeda. Un análisis posterior del abanico aluvial de Caraballeda mostró, en cambio, una zona de desplazamiento predominantemente hacia el norte sin un patrón este-oeste predominante y claro; se favoreció el desprendimiento lateral o el deslizamiento gravitacional sobre la ruptura superficial de desplazamiento lateral (Valkaniotis, 2026b). Por lo tanto, la Figura 5-12 proporciona evidencia preliminar de una posible deformación tectónica cerca de la superficie en La Guaira, no una confirmación de una ruptura en tierra firme a través de Caraballeda.

La inversión de INGV permite un desplazamiento superficial, y el resultado óptico indica una posible deformación cerca de la superficie en La Guaira. Se necesitan datos de campo para distinguir la ruptura tectónica primaria de la deformación distribuida y el movimiento de laderas o del terreno costero. Gran parte de la ruptura inferida de San Sebastián se encuentra en alta mar o muy cerca de la costa, donde la decorrelación del radar, la vegetación, los deslizamientos de

tierra, el desarrollo costero y la deformación distribuida limitan la resolución (INGVterremoti, 2026; Valkaniotis, 2026a, 2026b).

Un modelo de falla finita preferido para la caracterización del movimiento del terreno (p. ej., aplicaciones de NGA) integraría múltiples conjuntos de datos complementarios, incluidos los registros locales del movimiento del terreno, ondas telesísmicas, observaciones de GNSS y restricciones de InSAR (Buckreis & Stewart, 2025). Actualmente no se dispone de un modelo tan completo para esta secuencia, pero es probable que esté disponible a medida que se publiquen datos y análisis adicionales.

5.4 Secuencia de réplicas y distribución espacial

El informe de EERI VERT reprodujo una instantánea temprana del panel de control de FUNVISIS, recuperada el 27 de junio. En él se describían 138 eventos entre el 24 y el 26 de junio: 133 con M < 4, tres con M 4–6 y dos con M > 6; 129 estaban a menos de 30 km de profundidad, cinco estaban a profundidades de 30–80 km y cuatro estaban a más de 80 km de profundidad. Se informaron concentraciones cerca de Naiguatá, La Guaira, San Felipe, Maracay y la región de Caracas-Valencia (Chen et al., 2026). Las Figura 5-13 y Figura 5-14muestran una compilación preliminar de sismicidad independiente proporcionada por Baoning Wu (UCSD, comunicación personal).

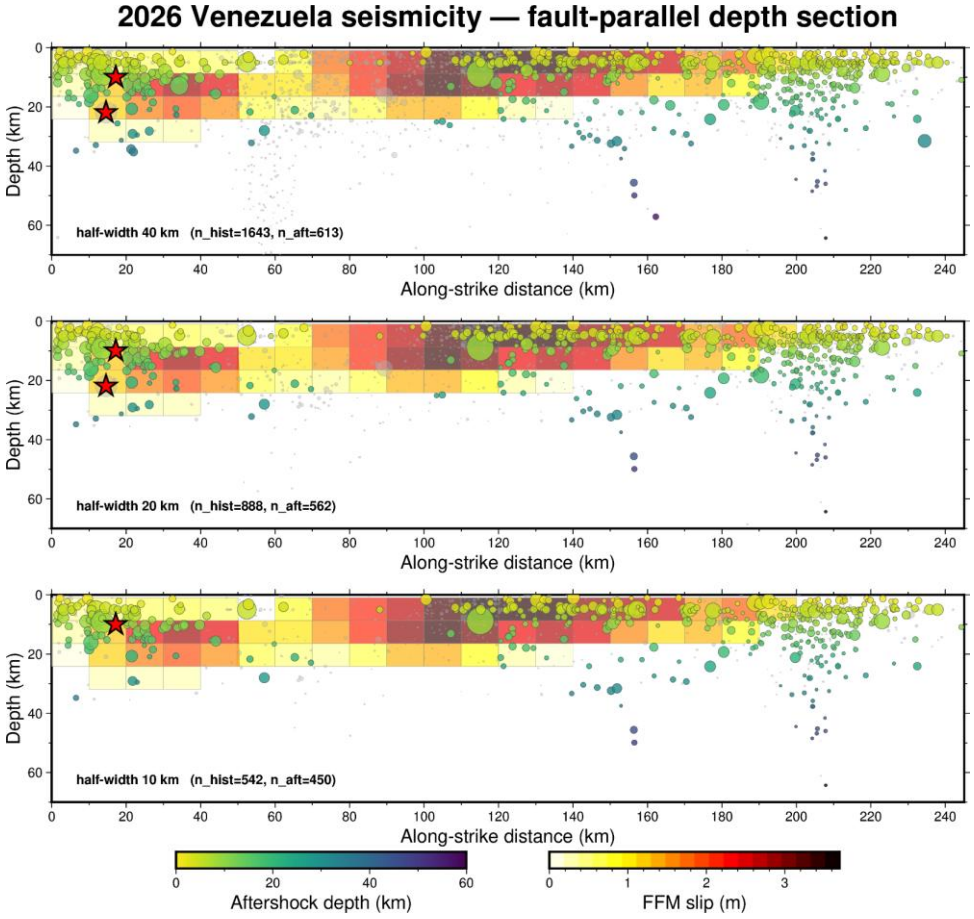


Figura 5-13. Secciones de profundidad paralelas a la falla, procedentes de la compilación preliminar del 17 de julio de 2026 sobre los terremotos de Venezuela. La sismicidad histórica se muestra en gris, los eventos posteriores al sismo principal tienen color según la profundidad, las ubicaciones de los dos sismos principales están marcadas con estrellas rojas y el desplazamiento modelado se muestra como parches de falla coloreados. Las estrellas y las zonas de desplazamiento representan las ubicaciones iniciales del USGS (es decir, no actualizadas para el evento de magnitud 7.5) y la solución de falla finita disponible el 17 de julio. Las secciones incluyen los terremotos ocurridos dentro de 40 km, 20 km y 10 km del perfil, respectivamente. Visualización y recopilación de sismicidad: Baoning Wu, comunicación personal; parches de falla finitos y coordenadas del sismo principal en ese momento: Productos del USGS consultados el 17 de julio de 2026.

En la compilación del 17 de julio de 2026, la sismicidad posterior al sismo principal se concentra cerca de la región de fuente occidental y hacia el extremo oriental de la ruptura modelada, con una brecha de sismicidad relativa entre los dos grupos. La brecha central se superpone a parte de la región de alto desplazamiento que se muestra en el mismo modelo de fuente. El clúster oriental puede reflejar una redistribución de la tensión, la segmentación o ramificación de la falla, o un ajuste continuo cerca del punto final de ruptura. El monitoreo continuo y la mejora de las reubicaciones a raíz de los terremotos pueden ayudar a distinguir entre estos procesos.

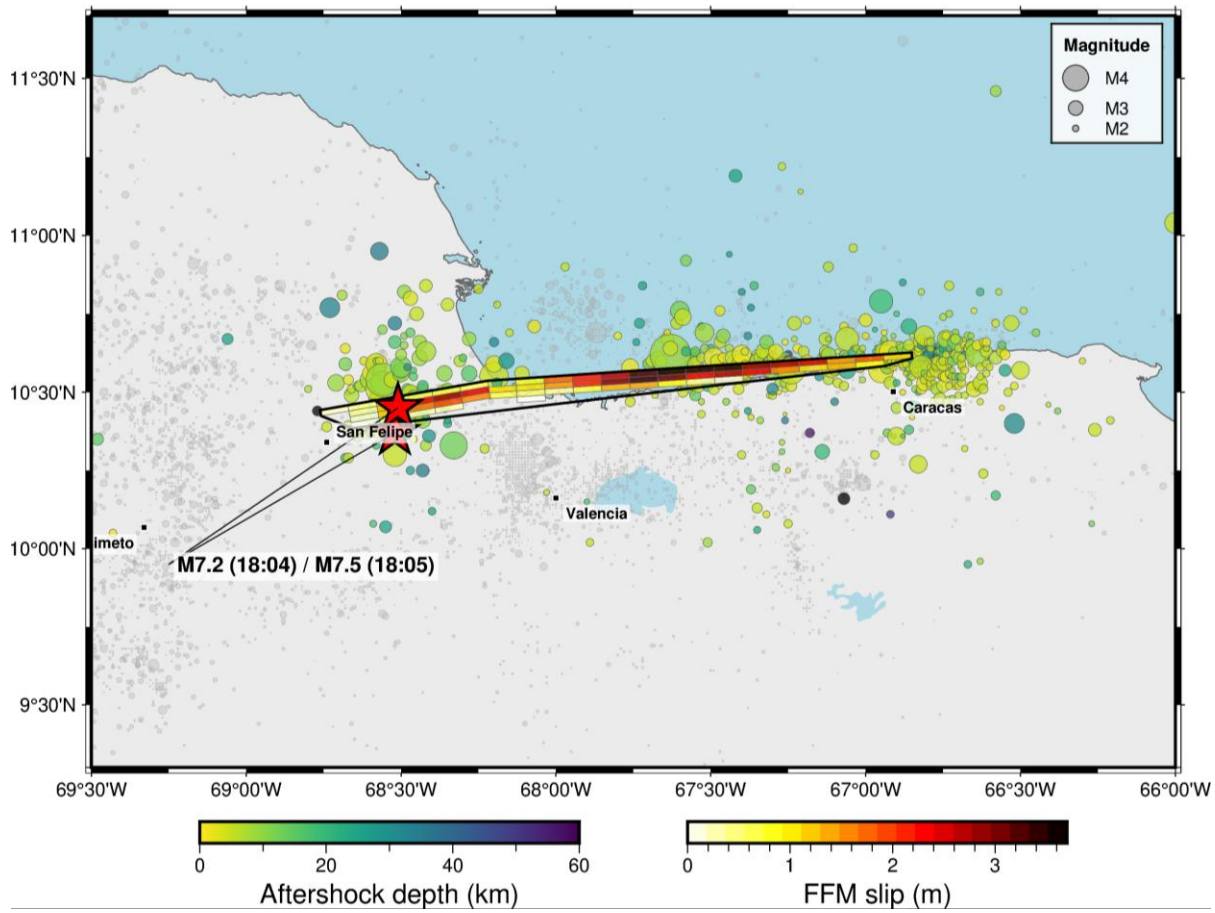


Figura 5-14. Mapa procedente de la compilación preliminar del 17 de julio de 2026 de la secuencia sísmica de Venezuela. La sismicidad histórica se muestra en gris, los eventos posteriores al sismo principal tienen color según la profundidad y en escala según la magnitud, y las zonas de falla finitas

están coloreadas según el desplazamiento modelado. Las estrellas y las zonas de desplazamiento representan las ubicaciones iniciales del USGS y la solución de falla finita disponible el 17 de julio. Visualización y recopilación de sismicidad: Baoning Wu, comunicación personal; parches de falla finitos y coordenadas del sismo principal en ese momento: Productos del USGS consultados el 17 de julio de 2026. Cabe destacar que el 27 de julio de 2026 el USGS actualizó su modelo de ruptura de falla y la ubicación del evento de magnitud 7.5.

5.5 Directividad de la ruptura e implicaciones del movimiento del suelo

La información disponible sobre las fuentes coincide en gran medida con una progresión de la fuente predominantemente hacia el este, lo que sitúa a La Guaira y Caracas, en general, en la posible dirección de avance de la ruptura. Somerville et al. (1997) encontraron que el avance de la ruptura en sitios cercanos a fallas puede aumentar la aceleración espectral normal a la falla en períodos más largos que aproximadamente 0.6 s y acortar la duración de un movimiento fuerte. Para los eventos de 2026, la directividad sigue siendo una interpretación que se puede comprobar; se necesitan grabaciones locales y modelos específicos para cada evento para cuantificar su contribución.

La evaluación de los daños informados en edificios de mediana y gran altura debe considerar la proximidad de la fuente, la posible directividad, la respuesta modelada de la cuenca de Caracas, dos episodios importantes de la fuente cuyos orígenes en el catálogo están separados por aproximadamente 30 a 33 segundos, el daño acumulativo y las vulnerabilidades informadas, incluidos los marcos de concreto armado no dúctiles y el relleno de mampostería sin refuerzo.

Semblat et al. (2002) modelaron la respuesta de ondas SH de movimiento débil en la cuenca aluvial de Caracas. Su modelo produjo una amplificación dependiente de la frecuencia, con efectos por debajo de 1 Hz en la cuenca más profunda y por encima de 1 Hz en las partes más delgadas. El intervalo de baja frecuencia se superpone al intervalo de período en el que Somerville et al. (1997) encontraron los efectos de directividad.

5.6 Prioridades de reconocimiento

La síntesis de las fuentes identifica cuatro prioridades para el reconocimiento continuo: verificación en campo de posibles deformaciones cerca de la superficie cerca de La Guaira y deformaciones del terreno en Caraballeda; la documentación de fuentes de catálogo y los métodos de procesamiento para la compilación preliminar de sismicidad; datos locales de movimientos fuertes y condiciones del sitio para probar la directividad, la proximidad de la fuente y la amplificación de la cuenca; y comparación de los daños modelados y derivados de imágenes con medidas de intensidad locales y observaciones en campo, incluida la normalización por el parque de edificaciones expuestas y la evaluación de la cobertura de detección.

5.7 Referencias

Abrahamson, N. A., Silva, W. J., & Kamai, R. 2014. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions [Resumen de la relación de movimiento del terreno ASK14 para regiones corticales activas]. Earthquake Spectra, 30(3), 1025–1055. https://doi.org/10.1193/070913EQS198M

Audemard, F. A., Machette, M. N., Cox, J. W., Dart, R. L., & Haller, K. M. 2000. Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions [Mapa y base de datos de fallas cuaternarias en Venezuela y sus regiones marinas] (U.S. Geological Survey Open-File Report 2000–18). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr0018

Audemard, F. A., Singer, A., Soulas, J.-P., & the Neotectonics Section of the FUNVISIS Earth Sciences Department. 2006. Quaternary faults and stress regime of Venezuela [Fallas cuaternarias y régimen de esfuerzos de Venezuela]. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61(4), 480–491. https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/1217

Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., & Atkinson, G. M. 2014. NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes [Ecuaciones NGA-West2 para la predicción de PGA, PGV y PSA con 5 % de amortiguamiento para terremotos corticales superficiales]. Earthquake Spectra, 30(3), 1057–1085. https://doi.org/10.1193/070113EQS184M

Buckreis, T. E., & Stewart, J. P. (Eds.). (2025). *Data resources for the NGA-West3 project* (GIRS-2025-07) [Recursos de datos para el proyecto NGA-West3] B. John Garrick Institute for the Risk Sciences, University of California, Los Angeles. https://doi.org/10.34948/N3D30R

Campbell, K. W., & Bozorgnia, Y. 2014. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra [Modelo de movimiento del terreno NGA-West2 para las componentes horizontales promedio de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración lineal con 5 % de amortiguamiento]. Earthquake Spectra, 30(3), 1087–1115. https://doi.org/10.1193/062913EQS175M

Chen, C., Espinoza Otalora, L., Griffith, M., Hiscock, A., Hyde, S., Ingabire Abayo, N., Johnson, J., Joshi, D., Khanal, S., Ortiz-Millan, M., Merino, Y., Moss, R., Namazie, L., Petersen, M., Rea-Avila, J., Rose, H.-R., Seage, M., Sezen, H., VanBuskirk, O., & Yost, K. (29 de junio de 2026). Learning from earthquakes Virtual Earthquake Reconnaissance Team (VERT): Phase 1 response to **M**7.2 & **M**7.5 Venezuela earthquakes, June 24, 2026 [Aprendiendo de los terremotos - Equipo Virtual de Reconocimiento de Terremotos (VERT): Respuesta de Fase 1 a los terremotos de M7.2 y M7.5 en Venezuela, 24 de junio de 2026] (Versión 1.0). Earthquake Engineering Research Institute. https://learningfromearthquakes.org/wp-content/uploads/2026.06.24-Venezuela-EQ-Phase-1-VERT-Report.pdf

Chiou, B. S.-J., & Youngs, R. R. 2014. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra [Actualización del modelo NGA de Chiou y Youngs para la componente horizontal promedio del movimiento pico del terreno y espectros de respuesta]. Earthquake Spectra, 30(3), 1117–1153. https://doi.org/10.1193/072813EQS219M

EarthScope Consortium. (n.d.). *NSF SAGE: Data Services products—BackProjection*. Recuperado el 15 de agosto de 2026 de https://ds.iris.edu/ds/products/backprojection/

EarthScope Consortium. 25 de junio de 2026. Back projections for Mw 7.5 near coast of Venezuela [Producto de retroproyección generado automáticamente]. IRIS DMC Searchable Product Depository. https://ds.iris.edu/spud/backprojection/23670371

Agencia Espacial Europea (ESA). 29 de junio de 2026. Sentinel-1 shows ground displacement after Venezuela earthquakes [Sentinel-1 muestra el desplazamiento del terreno tras los terremotos de Venezuela] [Imagen satelital]. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2026/06/Sentinel-1_shows_ground_displacement_after_Venezuela_earthquakes

GFZ Helmholtz Centre for Geosciences. 2026a. GEOFON event gfz2026mhpf: Near coast of Venezuela [Evento GEOFON gfz2026mhpf: Cerca de la costa de Venezuela] [Registro de evento sísmico]. Recuperado el 29 de julio de 2026 en https://geofon.gfz.de/eqinfo/event.php?id=gfz2026mhpf

GFZ Helmholtz Centre for Geosciences. 2026b. GEOFON event gfz2026mhpg: Near coast of Venezuela [Evento GEOFON gfz2026mhpg: Cerca de la costa de Venezuela] [Registro de evento sísmico]. Recuperado el 29 de julio de 2026 en https://geofon.gfz.de/eqinfo/event.php?id=gfz2026mhpg

GFZ Helmholtz Centre for Geosciences. 2026c, 26 de junio. Severe earthquake in Venezuela: GFZ information and status report [Terremoto de gran intensidad en Venezuela: Informe de información y estado del GFZ]. https://www.gfz.de/en/section/seismology/overview/section-news/severe-earthquake-in-venezuela-gfz-information-status-report

Global CMT Project. (2026). *Global Centroid Moment Tensor catalog: **M**7.5 Venezuela earthquake, June 24, 2026* [Catálogo Global de Tensores de Momento Centroide: Terremoto de M7.5 en Venezuela, 24 de junio de 2026] [Solución del tensor de momento]. Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. Recuperado el 15 de agosto de 2026 de https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html

Hubbard, J. A., & Bradley, K. 1 de julio de 2026. Aftershocks and satellite imaging of the Venezuela earthquake [Réplicas e imágenes satelitales del terremoto de Venezuela]. Earthquake Insights. https://earthquakeinsights.substack.com/p/aftershocks-and-satellite-imaging

INGVterremoti. 26 de junio de 2026. Sorgente estesa della sequenza sismica in Venezuela, 24 giugno 2026 [Fuente extendida de la secuencia sísmica en Venezuela, 24 de junio de 2026]. https://ingvterremoti.com/2026/06/26/sorgente-estesa-della-sequenza-sismica-in-venezuela-24-giugno-2026/

Scher, C., & Van Den Hoek, J. 2026. Sentinel-1 likelihood of damaged structures (experimental) for the Venezuela earthquake June 2026 [Capa de datos experimentales de mapas web; distribuida por el Portal de Mapeo de Desastres de la NASA; huellas de edificios por Overture Maps Foundation]. Recuperado el 29 de julio de 2026 de https://gis.earthdata.nasa.gov/portal/home/item.html?id=0c3d77dd5aae46e4829d9a282477615c

Semblat, J.-F., Duval, A.-M., & Dangla, P. 2002. Seismic site effects in a deep alluvial basin: Numerical analysis by the boundary element method [Efectos de sitio sísmicos en una cuenca aluvial profunda: Análisis numérico mediante el método de elementos de contorno].

Computers and Geotechnics, 29(7), 573–585. https://doi.org/10.1016/S0266-352X(02)00017-4

Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., & Abrahamson, N. A. 1997. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity [Modificación de las relaciones empíricas de atenuación de movimientos fuertes del terreno para incluir los efectos de amplitud y duración de la directividad de la ruptura]. Seismological Research Letters, 68(1), 199–222. https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.199

U.S. Geological Survey. 2026a, 27 de julio. Finite-fault model, version 3, for the M 7.5 Venezuela earthquake (us6000t7zp) [Modelo de falla finita, versión 3, para el terremoto M 7.5 de Venezuela (us6000t7zp)] [Modelo de falla finita]. Recuperado el 29 de julio de 2026 de https://earthquake.usgs.gov/product/finite-fault/us6000t7zp_1/us/1785187765755/analysis.html

U.S. Geological Survey. 2026b. M 7.2 Venezuela earthquake (us6000t7zc) [Terremoto M 7.2 en Venezuela (us6000t7zc)] [Página del evento sísmico]. Recuperado el 29 de julio de 2026 de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zc/executive

U.S. Geological Survey. 2026c. M 7.5 Venezuela earthquake (us6000t7zp) [Terremoto M 7.5 en Venezuela (us6000t7zp)] [Página del evento sísmico]. Recuperado el 29 de julio de 2026 de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/executive

Valkaniotis, S. 2026a, 30 de junio. Horizontal displacement measured by Copernicus Sentinel-2 satellite imagery, show an onshore segment of the San Sebastian–Centro fault rupture, June [El desplazamiento horizontal medido por las imágenes satelitales Copernicus Sentinel-2 muestra un segmento terrestre de la ruptura de la falla San Sebastián–Centro, junio] [Imagen adjunta] [Publicación]. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/sotiris-valkaniotis-37a822a_rupture-venezuela-earthquake-activity-7477783538386288640-znH2

Valkaniotis, S. 2026b, 2 de julio. Horizontal displacement (4 × 4 m grid) from optical image correlation in Caraballeda alluvial fan; looks more like major lateral spreading or gravitational sliding [El desplazamiento horizontal (malla de 4 × 4 m) a partir de la correlación de imágenes ópticas en el abanico aluvial de Caraballeda parece ser más bien un esparcimiento lateral mayor o un deslizamiento gravitacional] [Imagen adjunta] [Publicación]. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/sotiris-valkaniotis-37a822a_caraballeda-venezuela-earthquake-activity-7478404613336055808-6d6Z

6. CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO DEL SUELO Y EFECTOS LOCALES DEL SITIO

Tabla 6-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
David Barba	Estudiante de posgrado en NC State University, EE. UU.
Felipe Kuncar	Investigador postdoctoral en la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda.
Ashly Cabas	Profesora asociada en NC State, EE. UU.
Ke Xu	Investigador postdoctoral en NC State, EE. UU.

En Venezuela se han hecho importantes esfuerzos para caracterizar las condiciones dinámicas del sitio en varias ciudades, incluyendo algunas de las más afectadas por los terremotos de 2026. Existen mapas disponibles sobre la velocidad promedio de las ondas de corte en los 30 m superiores del subsuelo (V_{s30}), el período fundamental del sitio y la profundidad del sedimento para Caracas, La Guaira, Valencia y Maracay. Esta información es fundamental para comprender la influencia de las condiciones del sitio en los movimientos sísmicos generados por los eventos de 2026 y debe tenerse en cuenta antes de planificar investigaciones adicionales en el sitio destinadas a caracterizar mejor estos terremotos. Existe una brecha importante de información en Catia La Mar y sus alrededores, donde (hasta donde conocen los autores) actualmente no se dispone de datos, lo que representa un objetivo prioritario para futuros levantamientos geofísicos.

Los suelos son competentes en las zonas afectadas. Los suelos cercanos a la superficie son relativamente rígidos, según la información disponible.V_{s30} En este sentido, la morfología y la profundidad de la cuenca pueden desempeñar un rol más significativo en los patrones de amplificación del movimiento del suelo. Por ejemplo, los efectos de la cuenca pueden ser relevantes en lugares como La Guaira y Valencia, donde existen fuertes variaciones en la interfaz sedimento-roca. Estos efectos se han observado en Nueva Zelanda y otras regiones, donde algunas cuencas presentan máximos pronunciados en la amplificación del sitio cerca de sus bordes (p. ej., de la Torre et al. 2026).

6.1 Condiciones sísmicas del sitio en las áreas afectadas

Para interpretar la variabilidad espacial y las características de los movimientos del terreno en términos de amplitud, contenido de frecuencia y duración, es fundamental comprender a fondo las condiciones geológicas locales. En las últimas décadas, se han hecho numerosos levantamientos geotécnicos y geofísicos en toda Venezuela, lo que ha dado como resultado mapas de las propiedades de los sitios y estudios de microzonificación sísmica. La mayoría de estos esfuerzos han sido liderados por FUNVISIS (y en particular, por el Dr. Michael Schmitz) en coordinación con universidades locales, y los resultados se han difundido principalmente a través de tesis, memorias de congresos nacionales, artículos de revistas y el sitio web de FUNVISIS.

Esta sección resume la información relevante disponible para las zonas más afectadas por los terremotos de 2026. En las siguientes subsecciones, se presentan compilaciones sobre la velocidad de onda de corte promedio en el tiempo disponible en los 30 m superiores (V_{s30}), espesor de los sedimentos (profundidad hasta el lecho rocoso) y datos del período del sitio para Caracas, La Guaira, Valencia y Maracay (Figura 6-1).

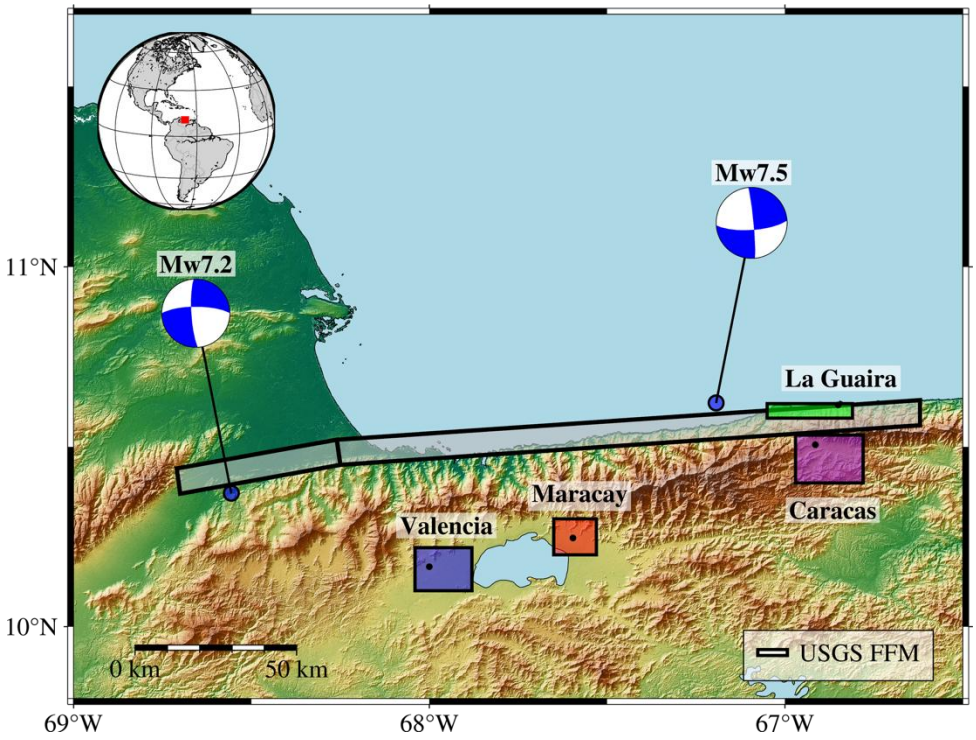


Figura 6-1. Localización de las zonas afectadas luego de los terremotos de junio de 2026, con los estudios de microzonificación disponibles. También se muestra el modelo de ruptura de falla finita (FFM) del USGS.

6.1.1 Caracas

Schmitz et al. (2020) presentan los resultados del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, que implicó la compilación y adquisición de extensos conjuntos de datos para la caracterización de la cuenca sedimentaria en términos del período predominante del sitio, la profundidad hasta el lecho rocoso y V_{s30}. La Figura 6-2 muestra el mapa de los períodos de sitio predominantes, derivado de aproximadamente 2000 mediciones de la razón espectral H/V (HVSR). En la mayor parte del área metropolitana, los períodos predominantes se sitúan en un intervalo de 0.1 a 0.5 s. Sin embargo, en el sector noreste de la ciudad (Los Palos Grandes), los periodos alcanzan valores de hasta ~2.0 s. También se observan periodos elevados de aproximadamente 1.0 s en San Bernardino.

La Figura 6-3 presenta el mapa correspondiente de profundidad hasta el lecho rocoso, construido a partir de una combinación de estudios de refracción sísmica, estimaciones derivadas de HVSR, un modelo gravimétrico, registros de pozos de agua y cuatro pozos de sondeo profundos. De conformidad con la distribución del período del sitio, los mayores espesores de sedimentos se

encuentran en Los Palos Grandes (aproximadamente 320 m) y San Bernardino (aproximadamente 240 m).

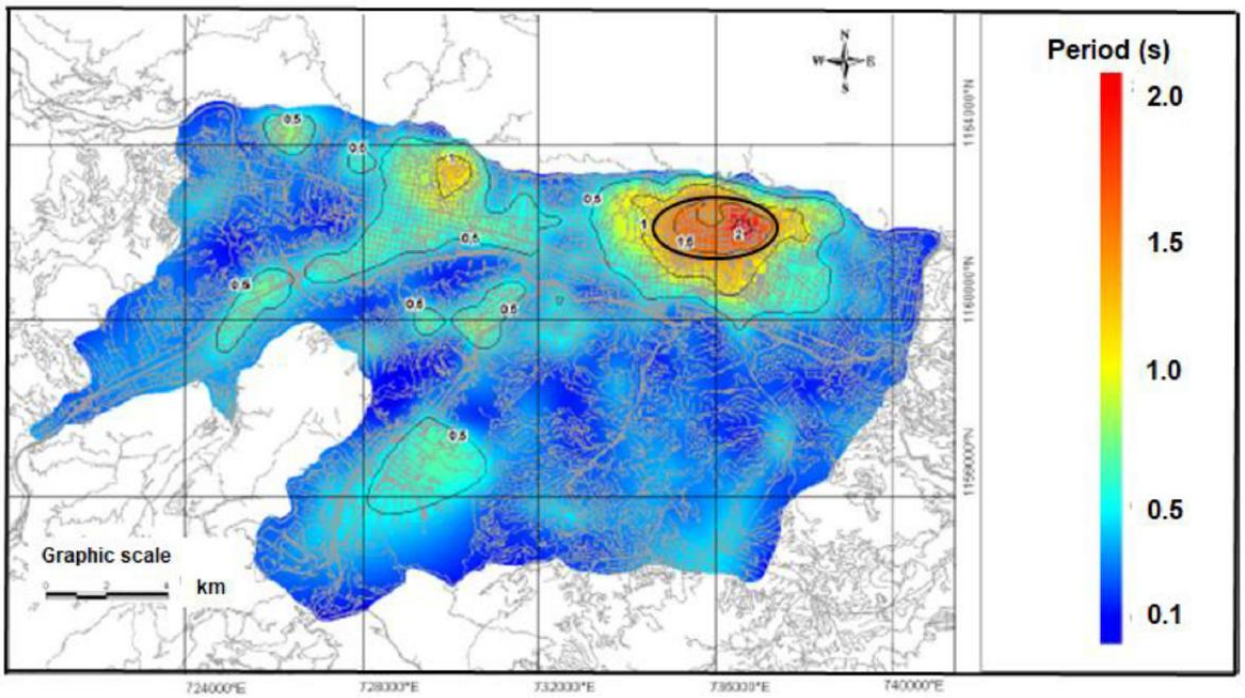


Figura 6-2. Mapa de los períodos del sitio generado para Caracas con base en aproximadamente 2000 mediciones de HVSR. Modificado de Schmitz et al. (2020).

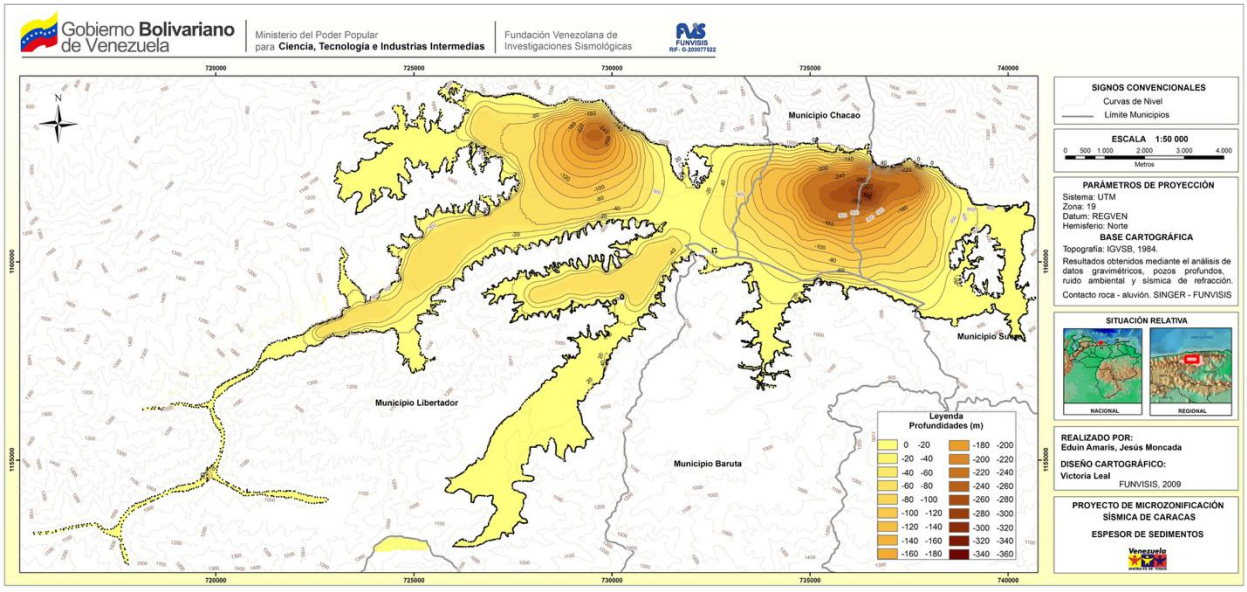


Figura 6-3. Mapa de profundidad de sedimentos generado para Caracas (FUNVISIS, s.f.)

Además, se elaboró un mapa de V_{S30} (Figura 6-4), principalmente a través de correlaciones empíricas con los números de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT) obtenidos en

aproximadamente 1000 sitios. A pesar del gran número de mediciones de SPT, el mapa resultante muestra una resolución espacial limitada en la variación de V_{S30}, atribuible en parte a la limitación de utilizar una correlación empírica con SPT. Las correlaciones empíricas entre SPT y V_{s30} generan gran incertidumbre, por lo que se recomienda que las investigaciones futuras prioricen la obtención de mediciones directas de velocidad de onda de corte en toda Caracas. Estos datos son esenciales tanto para la evaluación de modelos empíricos de movimiento del suelo (que se utilizan habitualmente V_{s30} como indicador del efecto de sitio) como para mejorar la caracterización de los efectos de sitio mediante análisis de respuesta específicos del sitio. La Figura 6-5 muestra la microzonificación sísmica resultante.

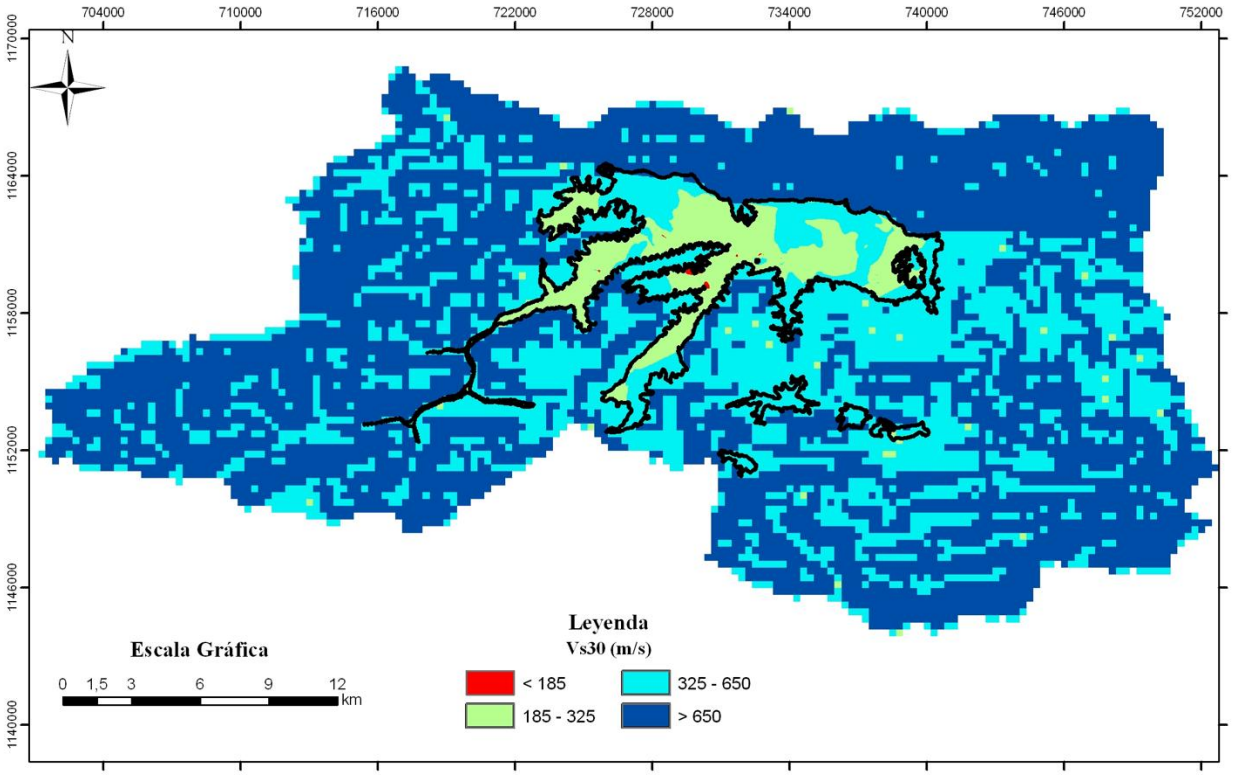


Figura 6-4. V_{s30} Mapa generado para Caracas (FUNVISIS, s.f.)

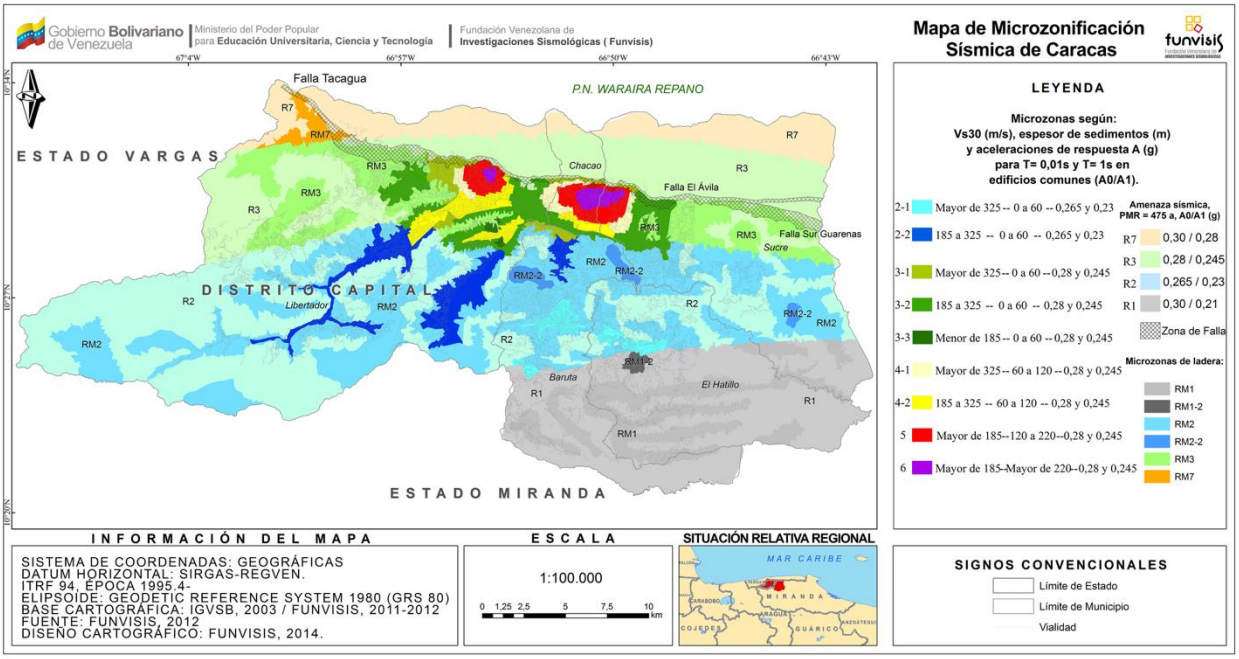


Figura 6-5. Mapa de microzonificación sísmica de Caracas (FUNVISIS, s.f.)

6.1.2 La Guaira

Romero et al. (2006) resumen las investigaciones previas hechas en los abanicos aluviales costeros del estado de La Guaira (antes estado Vargas) después del terremoto de Caracas de 1967 y presentan nuevos datos recogidos después del desastre de Vargas de 1999 (que incluyó deslizamientos de tierra y flujos de detritos provocados por lluvias intensas y prolongadas). Luego del terremoto de Caracas de 1967, se hicieron varias líneas de refracción sísmica (algunas de hasta 1.5 km de longitud) y pozos de sondeo en el abanico de Caraballeda. Estas primeras investigaciones indicaron una profundidad máxima del basamento de aproximadamente 450 m en la parte más profunda del abanico. Los sedimentos consisten predominantemente en materiales de grano grueso que van desde arenas y gravas hasta grandes cantos rodados, procedentes de la meteorización y la erosión del flanco norte de la sierra del Ávila.

Los datos adicionales informados por Romero et al. (2006) se centraron en los abanicos aluviales de La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena. Se desplegaron diez líneas de refracción y 130 HVSR en Macuto, Caraballeda y Tanaguarena. Además, se hicieron mediciones gravimétricas. Se identificaron tres unidades o grupos sedimentarios cercanos a la superficie: 1) V_s = 215-400 m/s, con profundidades que varían de 2 a 50 m; 2) V_s= 425-570 m/s, con profundidades que varían de 30 a 86 m; 3) V_s= 600-750 m/s.

La Figura 6-6 muestra el V_{s30} mapa que elaborado por Romero et al. (2006). Esto indica que hacia la costa se pueden encontrar suelos relativamente rígidos con una rigidez de 250-400 m/s, mientras que más cerca del frente montañoso se consiguen valores de 400-500 m/s y localmente >500 m/s. La Figura 6-7 muestra la distribución resultante de los periodos de sitio basados en HVSR, que normalmente oscilan entre 0.9 y 1.8 s, con valores de hasta 2.7 s registrados en las partes más gruesas del abanico de Caraballeda. La Figura 6-8 muestra el mapa de profundidad del basamento

resultante e indica que los espesores máximos de sedimentos alcanzan aproximadamente 450 m en la costa cercana de Caraballeda, 290 m en Macuto y 180 m en La Guaira. Cabe señalar que los perfiles de refracción de Romero et al. (2006) resolvieron la estructura de velocidad solo hasta profundidades de unos 70 m y, en consecuencia, V_s no está medido hasta el basamento rocoso.

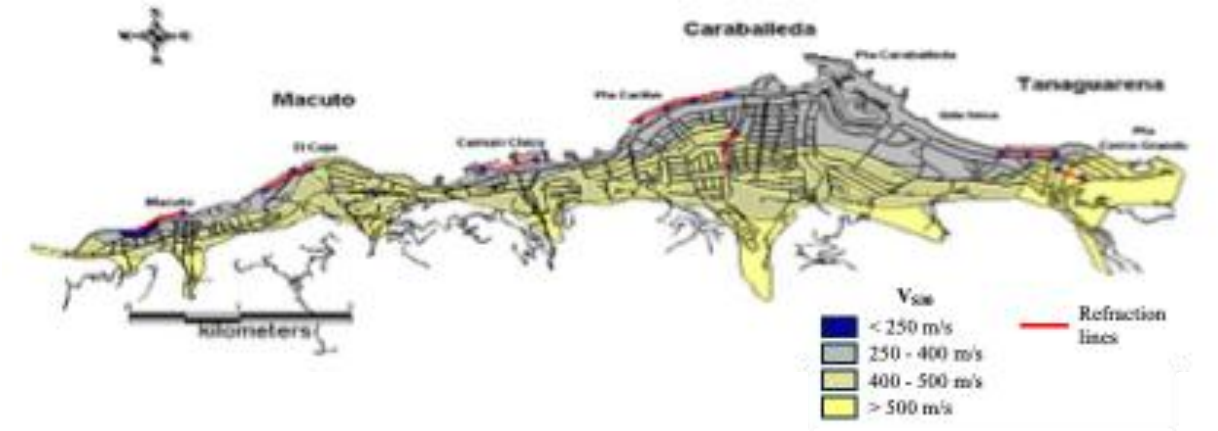


Figura 6-6. Mapa de V_{s30} de los abanicos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena (adaptado de Romero et al., 2006).

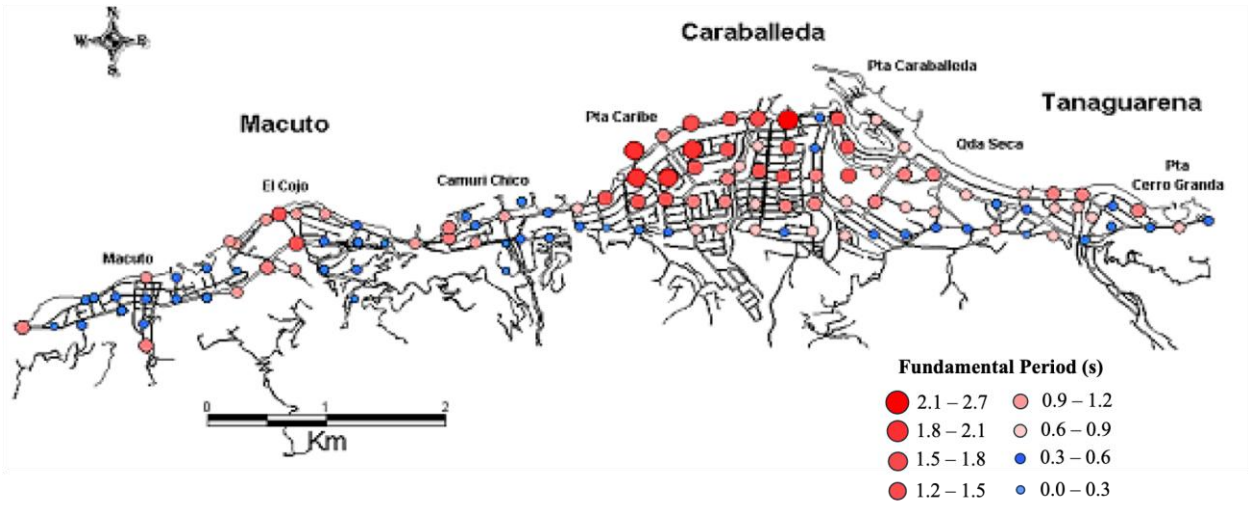


Figura 6-7. Mapa de los periodos del sitio para los abanicos aluviales de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena (adaptado de Romero et al., 2006).

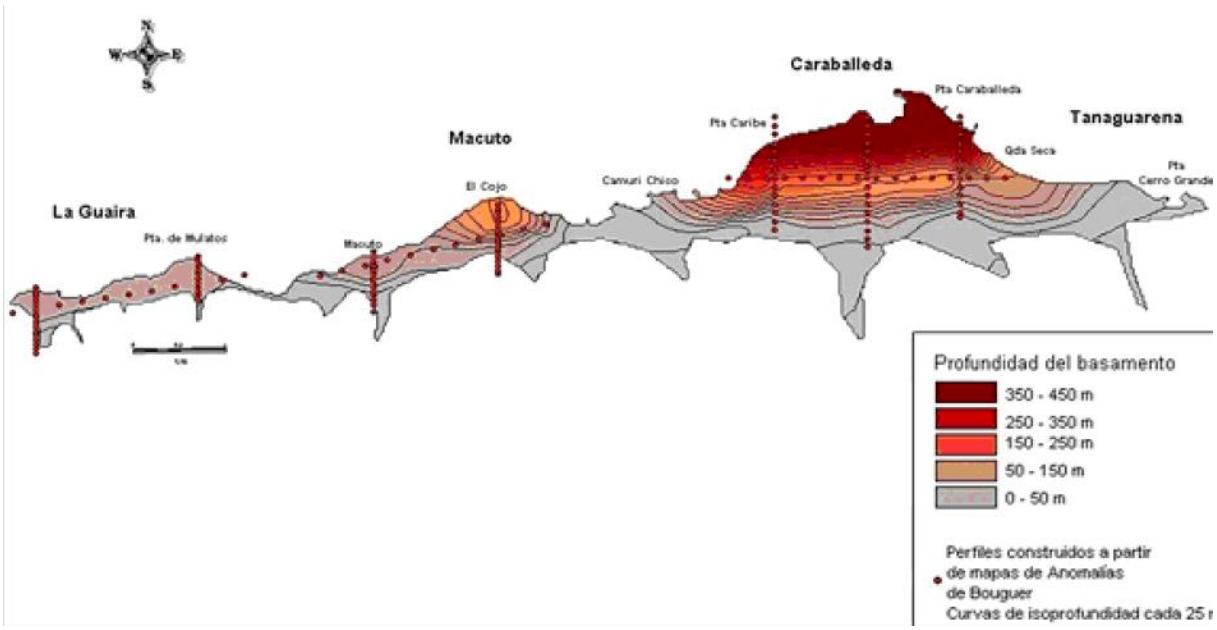


Figura 6-8. Modelo de profundidad del basamento entre La Guaira y Tanaguarena (Romero et al., 2006). La escala de colores indica los intervalos 350-450 m, 250-350 m, 150-250 m, 50-150 m y 0-50 m (de arriba a abajo en la leyenda).

Más recientemente, García et al. (2023) ampliaron el trabajo de Romero et al. (2006) mediante la incorporación de información sobre unidades geológicas superficiales en La Guaira. Estos resultados se integraron para generar un mapa de microzonificación preliminar de Caraballeda (Figura 6-9).

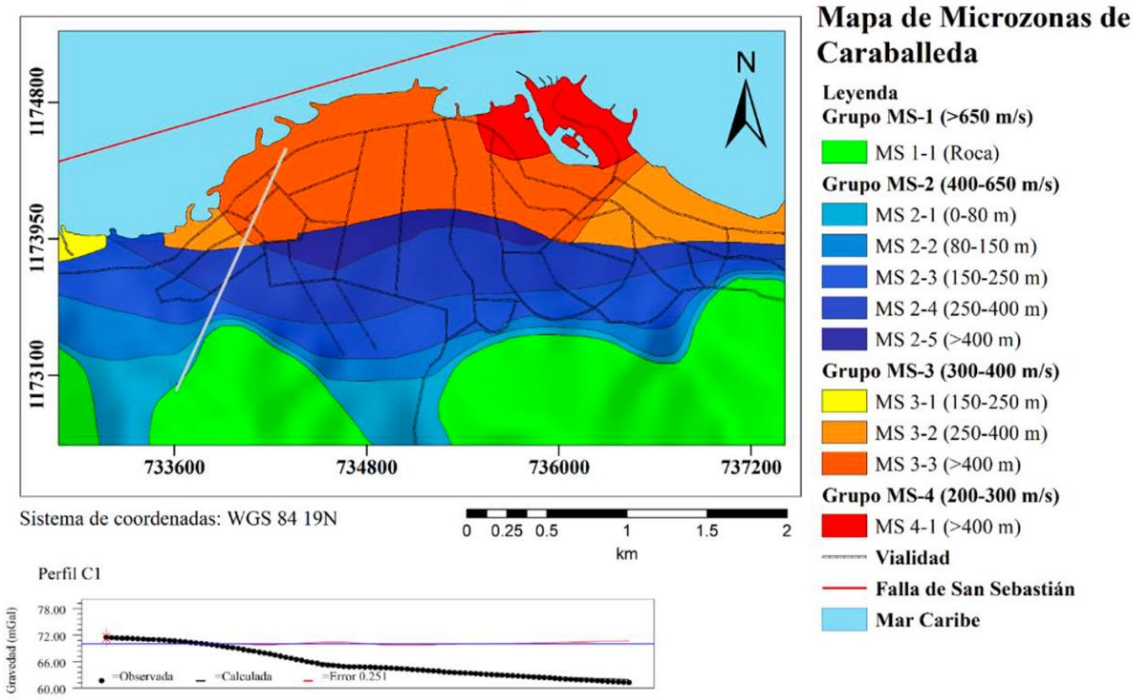
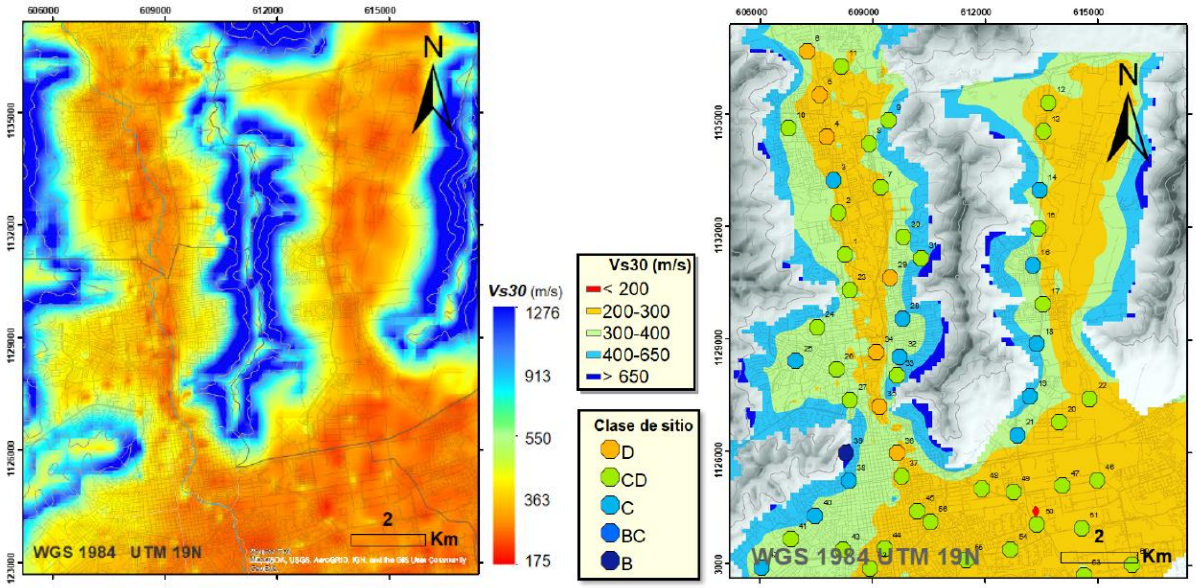


Figura 6-9. Mapa preliminar de microzonificación sísmica de Caraballeda (García et al., 2023)

6.1.3 Valencia

Mijares et al. (2021) describen las investigaciones geofísicas hechas en el Área Metropolitana de Valencia con el objetivo principal de caracterizar V_{s30}. Estas investigaciones correspondían a 64 arreglos de ruido sísmico y se procesaron principalmente utilizando el método IMASW (una combinación de interferometría sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales, MASW) y, en algunos casos, el método ReMi. Estos resultados se integraron con información topográfica y valores V_{s30} inferidos basados en SPT para generar un mapa de V_{s30}. Este mapa se ilustra en la Figura 6-10, tanto en su forma continua (Figura 6-10a) como en una versión discretizada que se basa en los intervalos utilizados para la clasificación sísmica del sitio según la norma venezolana COVENIN 1756 (Figura 6-10b; se incluye más información sobre los códigos de construcción venezolanos en el Capítulo 11). Esta figura muestra que los valores de V_{s30} disminuyen, como era de esperar, desde las colinas hacia la parte central de los valles.



(a) (b)

Figura 6-10. V_{s30}Mapas generados para la ciudad de Valencia (Mijares et al., 2021). (a) Mapa V_{s30} continuo y (b) mapa con clasificación de sitios sísmicos, según la norma venezolana COVENIN 1765.

Gil (2021) amplió el trabajo de Mijares et al. (2021) a una región más amplia mediante la integración de los datos recogidos por Mijares et al. (2021) con otros conjuntos de datos, incluidos datos de elevación digital, pozos de sondeo y SPT. La Figura 6-11 muestra el mapa de V_{s30} ampliado de Valencia.

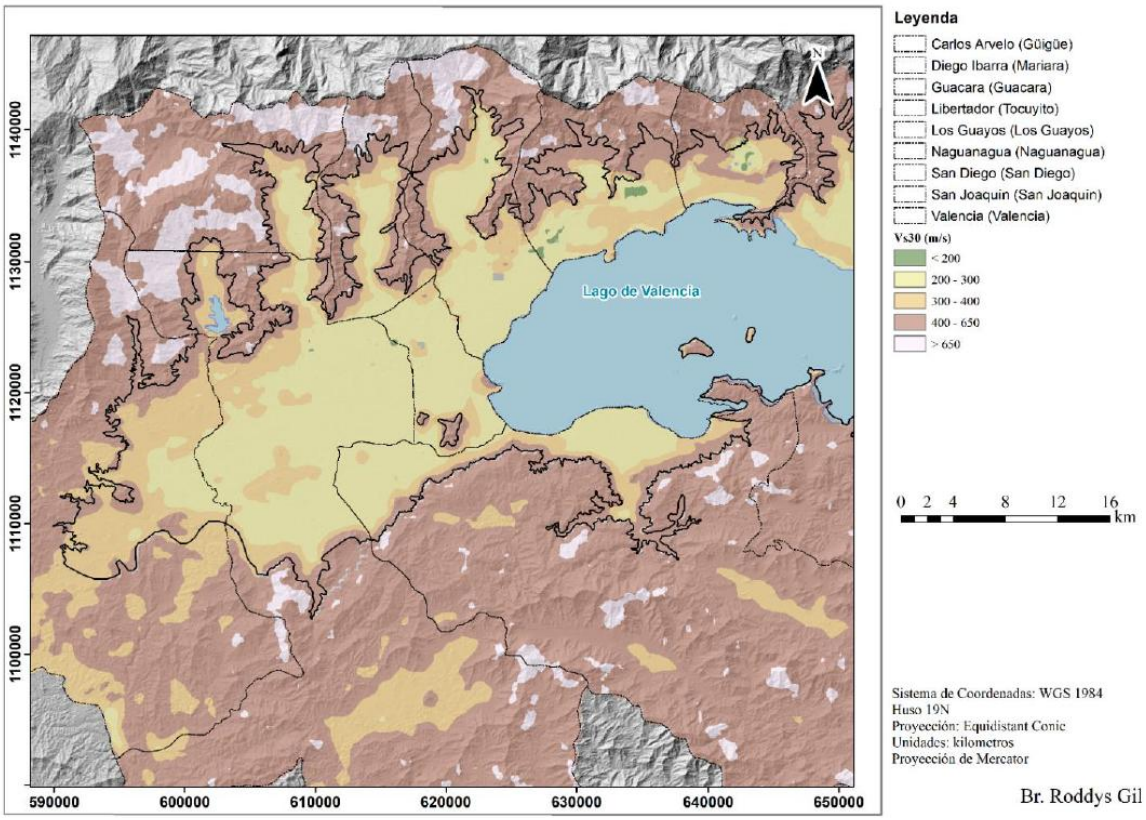


Figura 6-11. Mapa integrado de Valencia (Gil, 2021).V_{s30}

Gil (2021) también ofrece un mapa de profundidad de sedimentos (Figura 6-12), que utiliza varios conjuntos de datos, incluidos datos de gravimetría y HVSR, y un mapa de microzonificación que ayuda a visualizar los datos integrados (Figura 6-13).

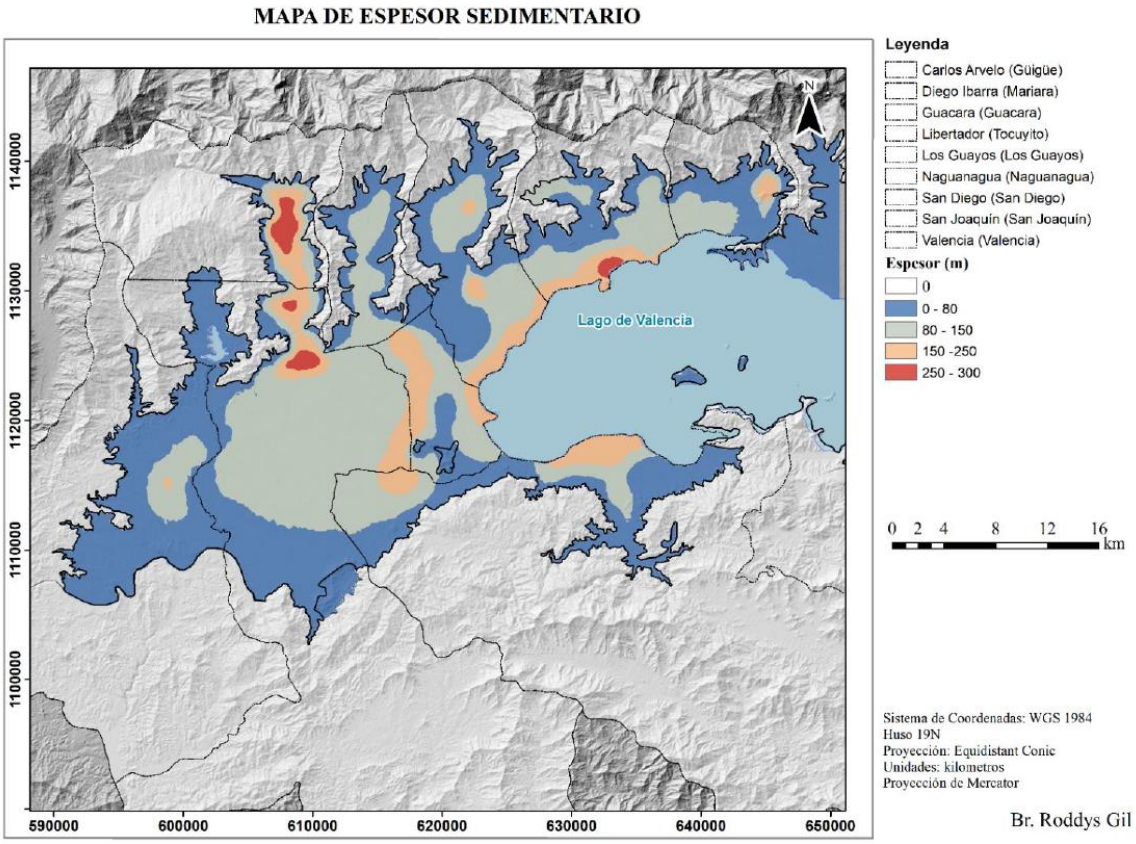


Figura 6-12. Mapa de profundidad de sedimentos para Valencia (Gil, 2021).

Además, la Figura 6-14 muestra el mapa del período del sitio proporcionado por Schmitz et al. (2015), que se basa en 530 mediciones de HVSR. El mapa muestra valores máximos de 2.8 s en el suroeste.

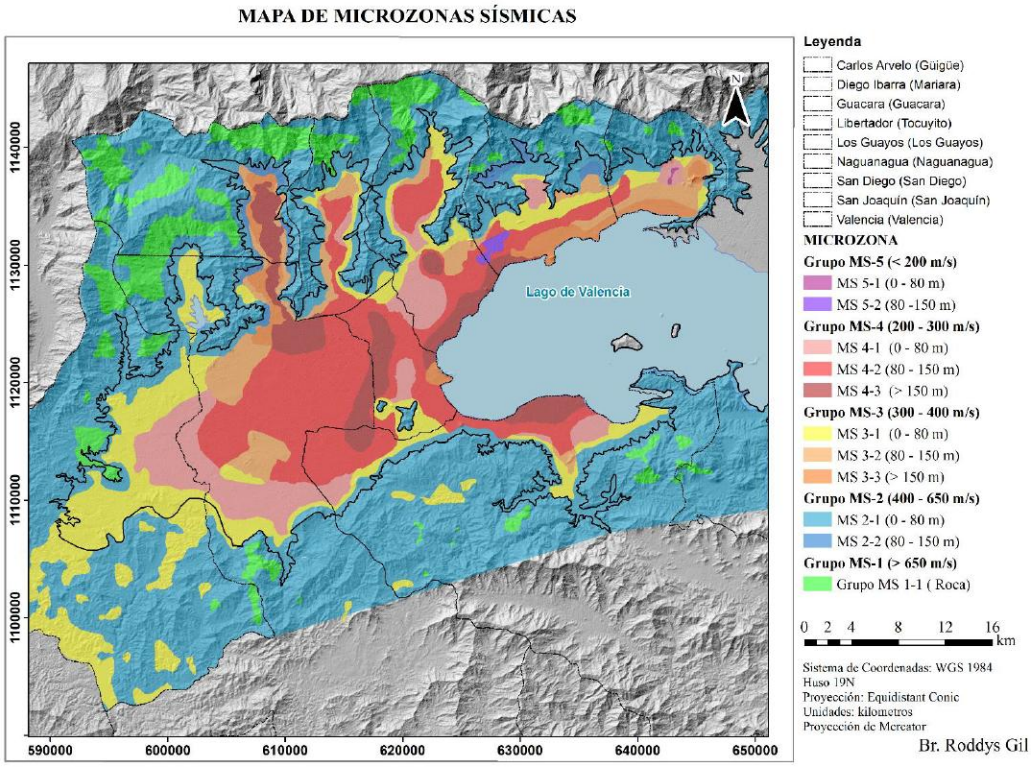


Figura 6-13. Mapa de profundidad de sedimentos para Valencia (Gil, 2021).

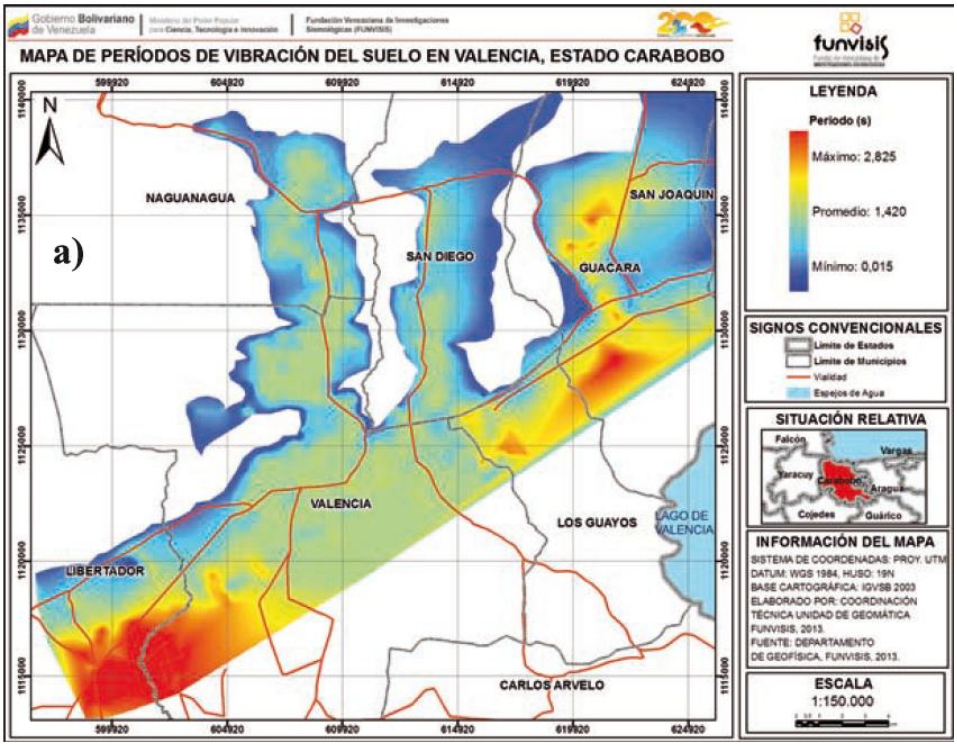


Figura 6-14. Mapa del periodo del sitio para Valencia (Schmidtz et al., 2015).

6.1.4 Maracay

La Figura 6-15 muestra el mapa de período del sitio para Maracay generado por Rojas (2008) basado en 315 mediciones de HVSR. Los valores más altos, de aproximadamente 2.8 s, se encuentran en la parte sur del área de estudio, y disminuyen hacia el norte.

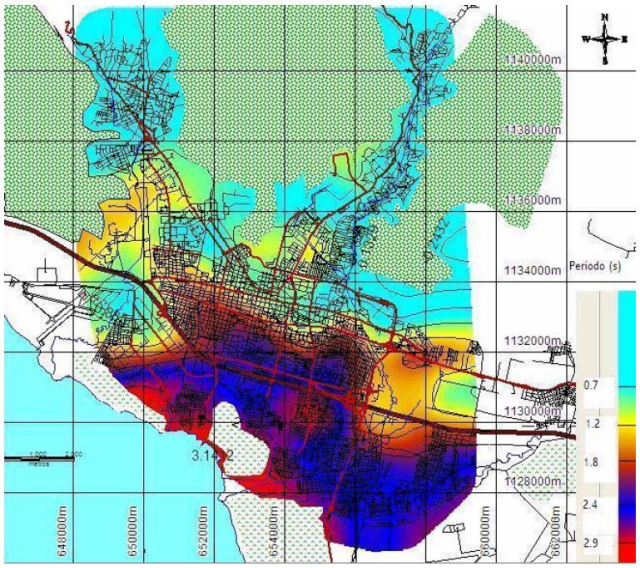
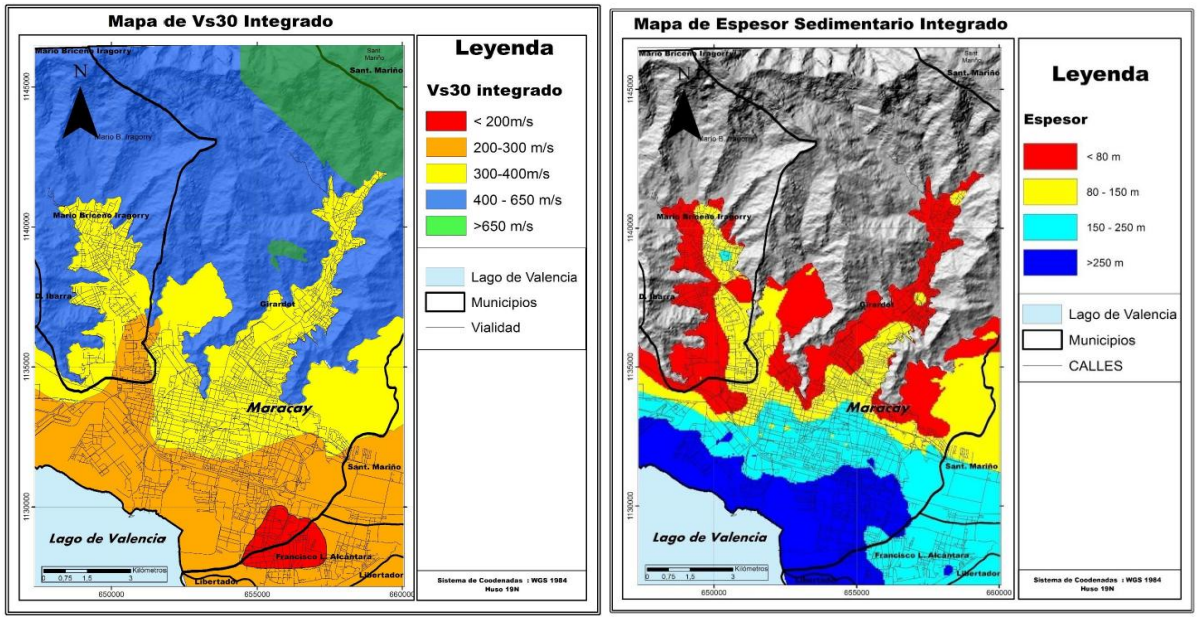


Figura 6-15. Mapa del período del sitio para Maracay (Rojas, 2008).

La Figura 6-16 muestra el mapa de V_{s30} para Maracay presentado en López (2021), que se basa en la integración de varios conjuntos de datos y metodologías, incluidos ReMi, IMASW, SPT y elevación digital. López (2021) también ofrece un mapa de profundidad de sedimentos, que integra varios conjuntos de datos, incluyendo 315 mediciones de HVSR y gravimetría.



(a) (b)

La Figura 6-16. a) Mapa V_{s30} integrado para Maracay, y b) Mapa integrado de profundidad de sedimentos para Maracay (López, 2021).

6.2 Caracter í sticas del movimiento del suelo

La caracterización de los movimientos del suelo generados por los terremotos de San Felipe y Catia La Mar de 2026 se ve limitada por la disponibilidad y la distribución espacial de los registros, particularmente cerca de las zonas de ruptura. Esta sección resume las redes sísmicas con registros potenciales o disponibles para estos eventos y describe cómo se identificaron y recopilaron los datos de moviemiento del terreno más distantes para su posterior procesamiento. Debido a que los datos instrumentales cercanos a la fuente siguen siendo limitados, también se usan observaciones indirectas, como la intensidad de los movimientos sísmicos informados y los productos de ShakeMap del USGS, para proporcionar un contexto más amplio sobre la distribución espacial y la gravedad de los movimientos sísmicos.

6.2.1 Redes sísmicas en la región

6.2.1.1 Red FUNVISIS

Venezuela cuenta con una red sísmica nacional (código FDSN: VE) operada por FUNVISIS. Esta red consta de 40 estaciones equipadas con sismómetros de banda ancha (Güralp CMG-40T-1) distribuidas en las zonas de mayor sismicidad del país (Figura 6-17). Además, FUNVISIS opera una red de registro de movimientos sísmicos fuertes (Red Acelerográfica Nacional, REDAC) que comprende 134 acelerómetros (Kinemetrics Etna) instalados en los principales centros urbanos del país (Figura 6-18) (FUNVISIS, 2023). Aunque no está claro el número de estaciones operativas en ambas redes, hay evidencia de que algunas de estas estaciones (p. ej., CARV, FUNV, BENV en la Figura 6-17) estaban en funcionamiento durante los terremotos de San Felipe y Catia La Mar en junio de 2026. Sin embargo, en el momento de la publicación de este informe, los registros de los movimientos del terreno no estaban disponibles para el público.

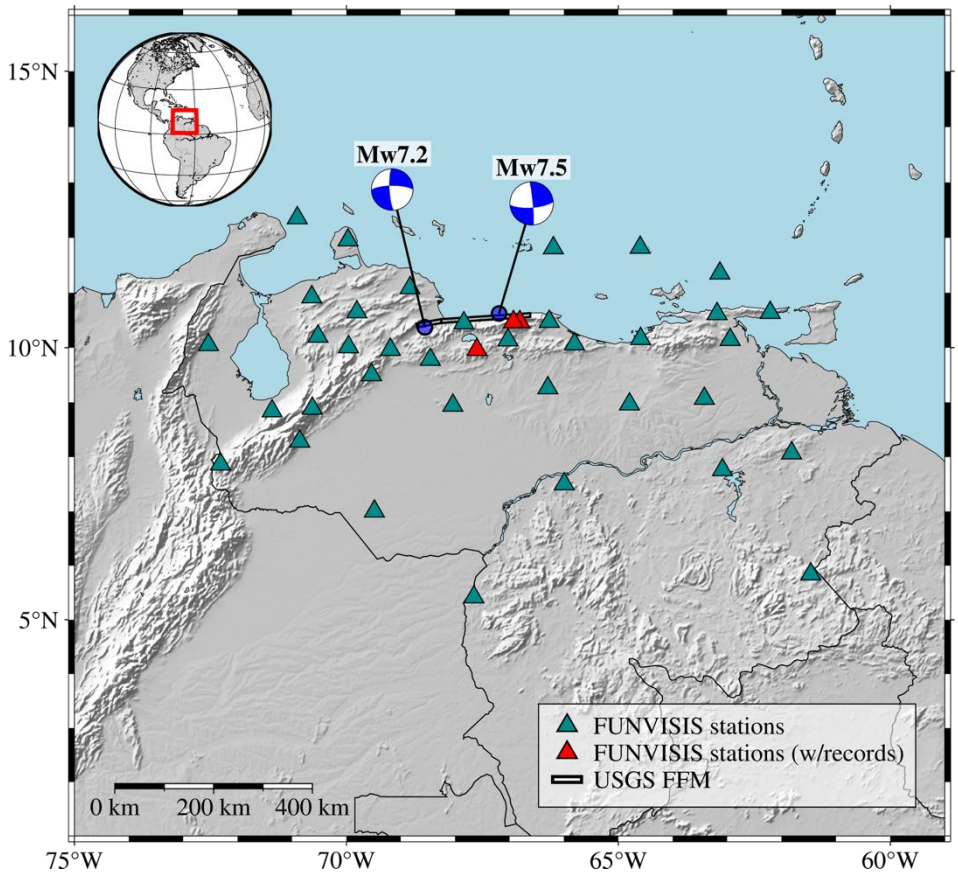


Figura 6-17. Distribución espacial de las estaciones sísmicas de FUNVISIS. FFM = Modelo de Fallas Finitas del USGS. Nota: Las estaciones de FUNVISIS con registros indican aquellas que cuentan con registros confirmados a la fecha de publicación de este informe.

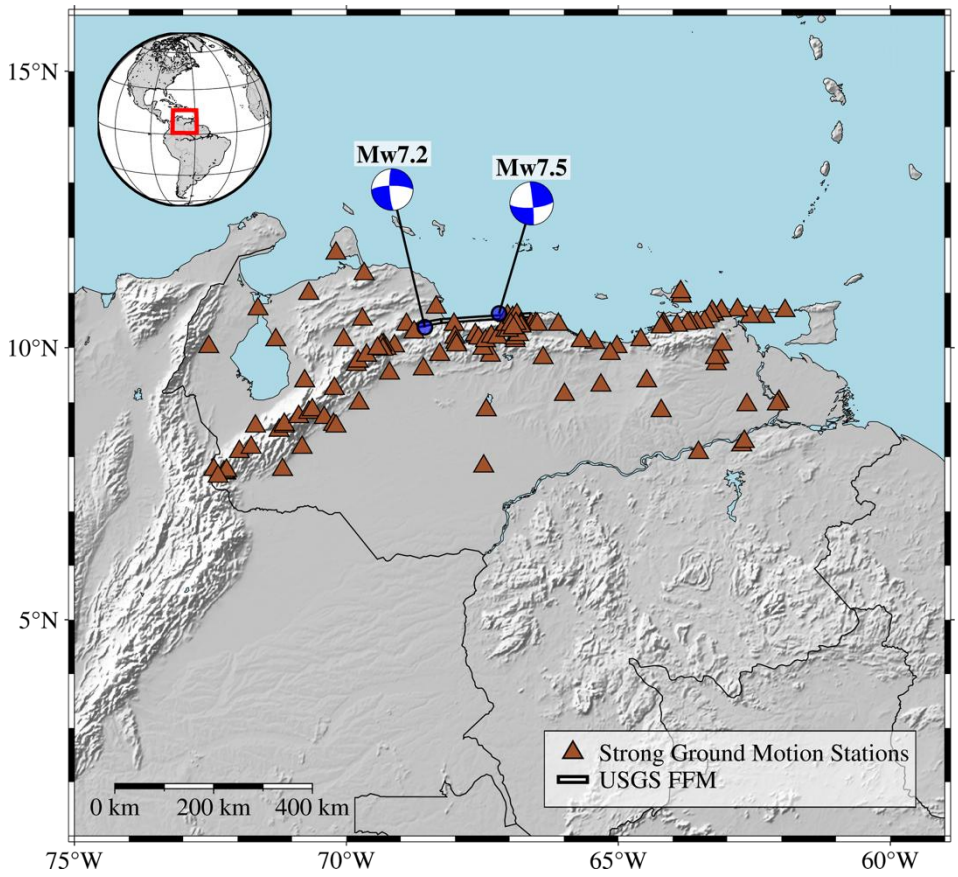


Figura 6-18. Distribución espacial de las estaciones de FUNVISIS para la medición de movimientos sísmicos fuertes (adaptado de FUNVISIS, 2023). FFM = Modelo de Fallas Finitas.

6.2.1.2 Otras redes sísmicas

Los datos de movimientos del terreno provenientes de otras redes sísmicas se recopilaron utilizando los servicios web de FDSN a través del paquete gmprocess del USGS (Thompson et al., 2025). Los criterios de búsqueda consideraron estaciones de campo libre con (1) una frecuencia de muestreo mínima de 20 Hz, (2) una distancia epicentral máxima de 800 km a cualquiera de los eventos, (3) dos componentes horizontales y uno vertical, y (4) acelerómetros y/o sismómetros de banda ancha (HN, BN, HH o BH según la nomenclatura de canales SEED). La consulta identificó 12 estaciones operativas de 6 redes (CM: Servicio Sismológico Colombiano, CU: Caribbean USGS Network, PR: Red Sísmica de Puerto Rico, IU: Global Seismograph Network, G: French Global Network of Seismological Broadband Stations, y WI: West Indies French Seismic Network) con registros disponibles (Figura 6-19). Solo una de las estaciones (SDV) se encuentra en Venezuela, siete están en Colombia y las restantes se ubican en varias islas del Caribe (Aruba, Granada y Martinica). La estación más cercana (ACPR) al epicentro de los sismos de magnitud 7.2 y 7.5 se encontraba a 280.4 y 370.4 km, respectivamente. Los detalles de las estaciones y sus instrumentos correspondientes, incluyendo la ubicación, la distancia epicentral (Repi) y los metadatos del sitio se muestran en la Tabla 6-2. Los valores de V_{S30} que aparecen en la tabla se infirieron a partir de un indicador topográfico basado en la pendiente, utilizando el mapa híbrido global de V_{S30} desarrollado por Heath et al. (2020).

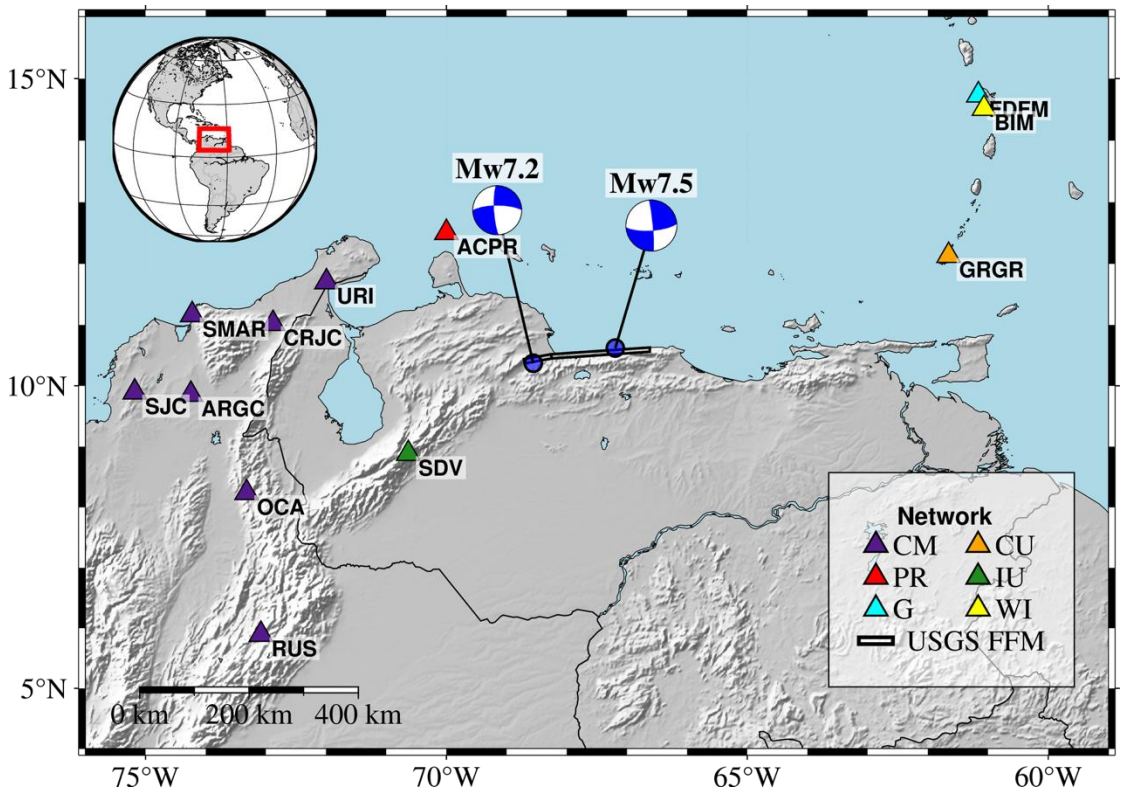


Figura 6-19. Distribución espacial de las estaciones sísmicas operativas durante los terremotos de San Felipe y Catia La Mar del 24 de junio de 2026 en un radio de 800 km. FFM = Modelo de Fallas Finitas del USGS.

Tabla 6-2. Metadatos de la estación sísmica

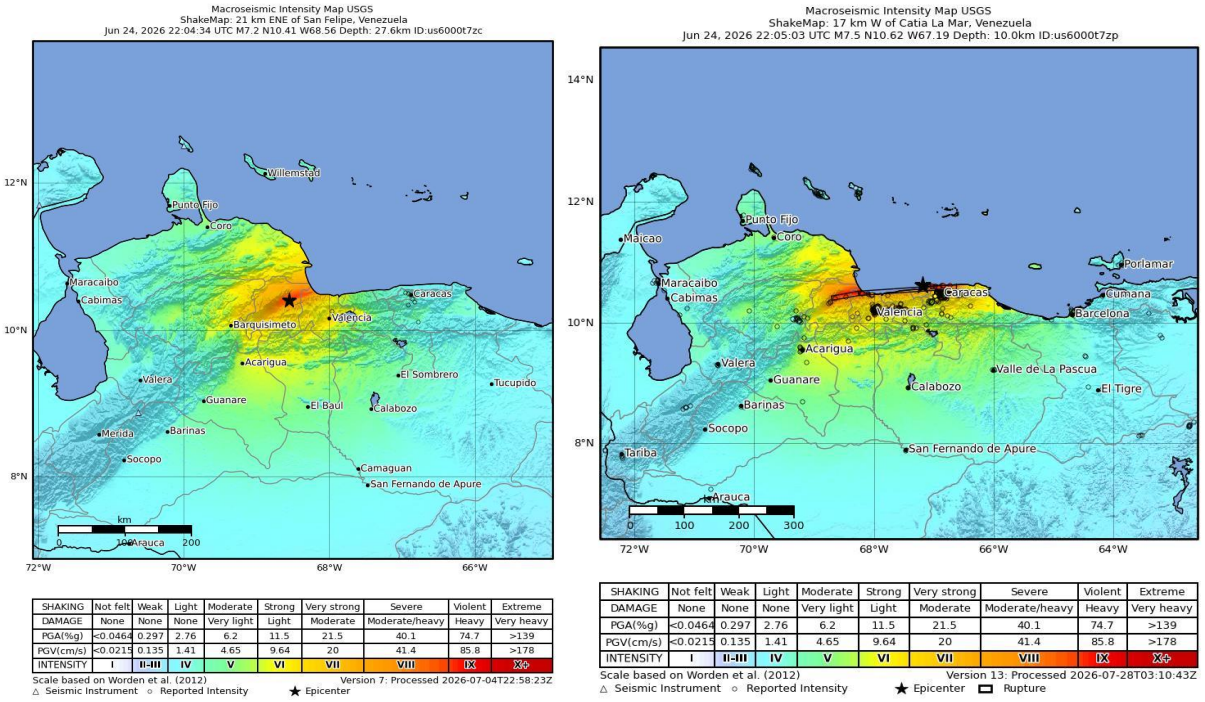
N	Neto	Código	Lat. (°)	Lon. (°)	Elev (m)	R_{epi} (km)		V_{s30} (m/s)	Tipo de instrumento
						M7.2	M7.5		
1	PR	ACPR	12.506	-70.001	18	280.4	370.4	298	N/S
2	IU	SDV	8.884	-70.634	1620	283.5	423.6	800	EpiSensor
3	CM	URI	11.702	-71.993	68	401.8	537.7	487	EpiSensor
4	CM	CRJC	11.020	-72.882	827	477.9	623.6	617	STS-2
5	CU	GRGR	12.132	-61.654	191	777.4	627.2	505	N/S
6	CM	OCA	8.239	-73.319	1264	575.5	722.5	466	EpiSensor
7	CM	SMAR	11.164	-74.225	122	625.4	771.0	379	STS-2
8	CM	ARGC	9.858	-74.246	187	626.4	777.2	300	STS-2.5

N	Neto	Código	Lat. (°)	Lon. (°)	Elev (m)	R_{epi} (km)		V_{s30} (m/s)	Tipo de instrumento
						M7.2	M7.5		
9	WI	BIM	14.518	-61.066	391	932.5	793.0	373	Trillium 120PA
10	G	FDFM	14.735	-61.160	320	935.3	797.7	579	Trillium120PH
11	CM	RUS	5.893	-73.083	3697	705.8	833.3	565	Trillium240
12	CM	SJC	9.897	-75.180	596	727.9	878.5	591	RT151

Elev.: elevación
km: kilómetro
Lat.: latitud
Lon.: longitud
m: metros
m/s: metros por segundo
R_{epi}: distancia epicentral
V_{s30}: velocidad promedio de las ondas de corte en los 30 m superiores del subsuelo

6.2.2 Observaciones indirectas del movimiento del suelo

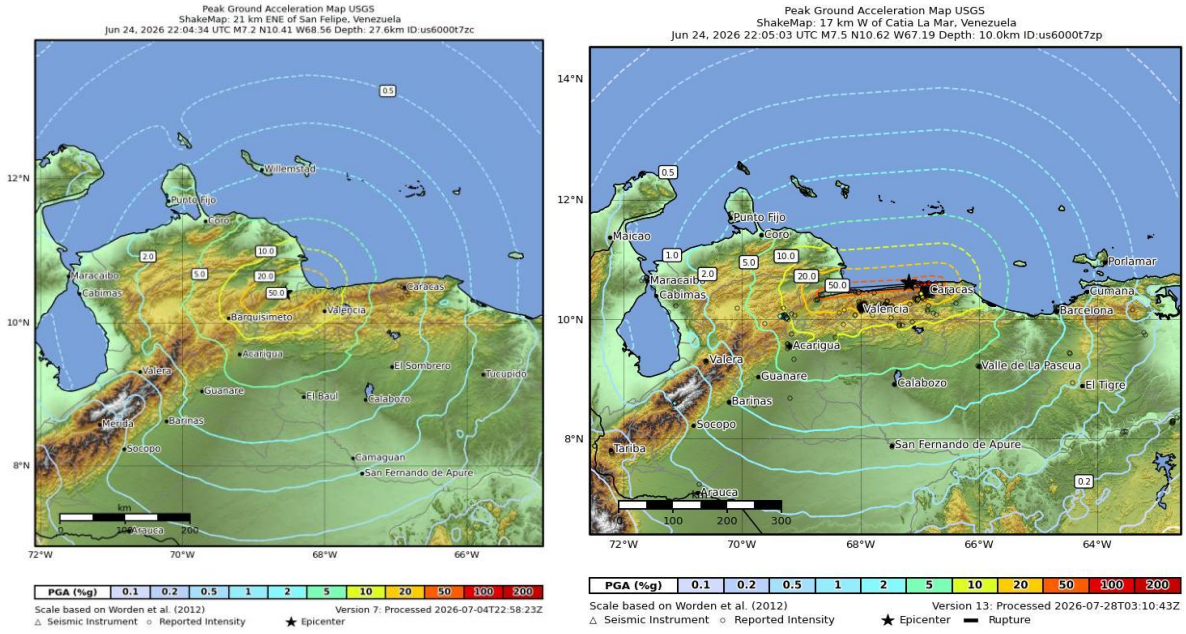
En ausencia de los registros de movimiento fuerte del terreno, las observaciones indirectas, como los mapas de Intensidad de Mercalli Modificada (MMI) o los informes "¿Lo sentiste?" ("*Did You Feel it?"* o DYFI), son un valioso recurso de datos para describir los efectos de un terremoto y la magnitud de los daños (Quitoriano y Wald, 2020). Para los sismos de magnitud 7.2 y 7.5, se presentaron 813 informes de DYFI. La mayoría de los informes procedían de Chacao (113), el Distrito Capital (49) y Valencia (39) en Venezuela, y de las islas caribeñas más cercanas (8 de Aruba, 20 de Curazao y 12 de Bonaire). Se informó un MMI máximo de IX a lo largo del corredor costero en La Guaira (Catia La Mar, Caraballeda, La Guaira, Morón y Maiquetía). La Figura 6-20 muestra los mapas de MMI correspondientes según lo informado por el USGS. Las zonas de máxima intensidad coinciden con la ruptura predominantemente hacia el este del modelo de falla finita del USGS.



(a) (b)

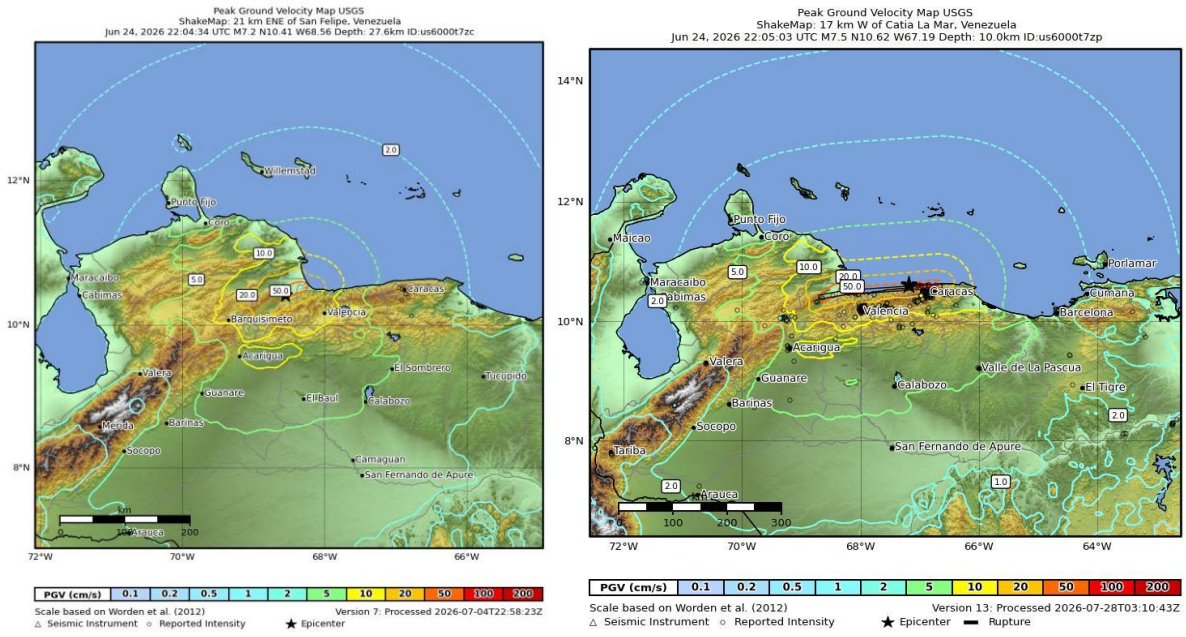
Figura 6-20. Mapas de intensidad de Mercalli modificada (MMI) de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos.

Los mapas ShakeMaps del USGS estiman una PGA de 0.5 g, una PGV de 50 cm/s, una PSA(T=1s) de 0.5 g y una PSA(T=3s) de 0.1 g alrededor de la ruptura (Figura 6-21 a Figura 6-24). Se pronostican valores más altos de la PSA en el municipio Juan José Mora, en Carabobo (cerca del epicentro del evento de magnitud 7.2), con un máximo de 1g y 0.2g en periodos de 1 y 3 s, respectivamente. Se estima un aumento localizado de la PSA(T=3s) en los alrededores de las ciudades de Valencia y Maracay, lo que probablemente indica efectos de cuenca.



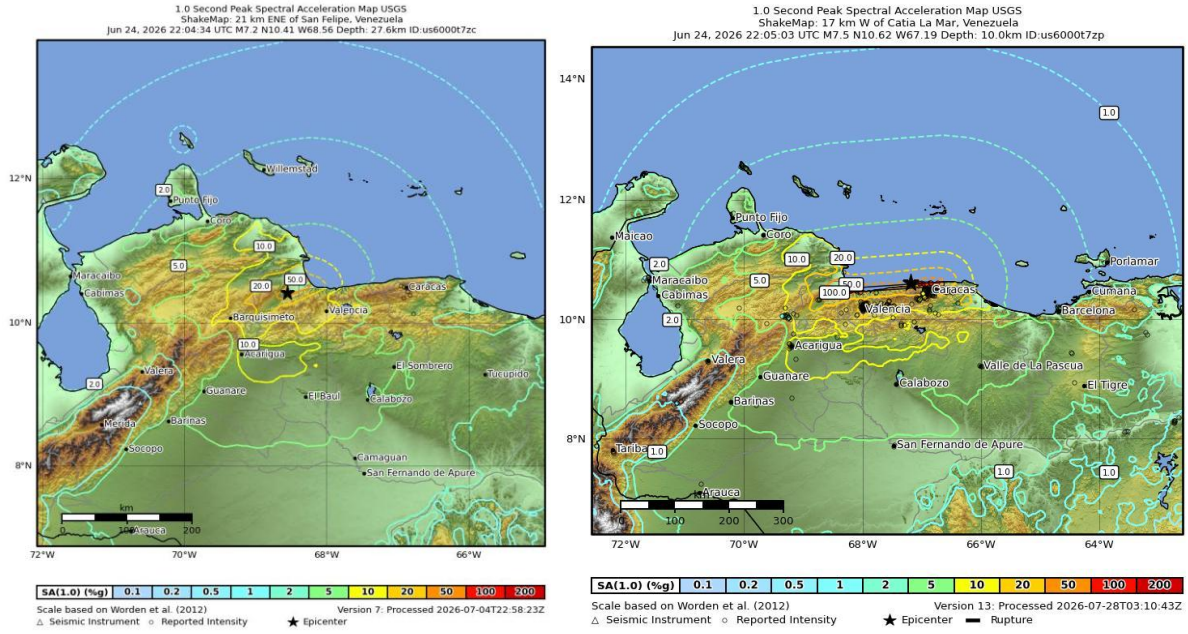
(a) (b)

Figura 6-21. Mapas de aceleración máxima del suelo (PGA) de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos.



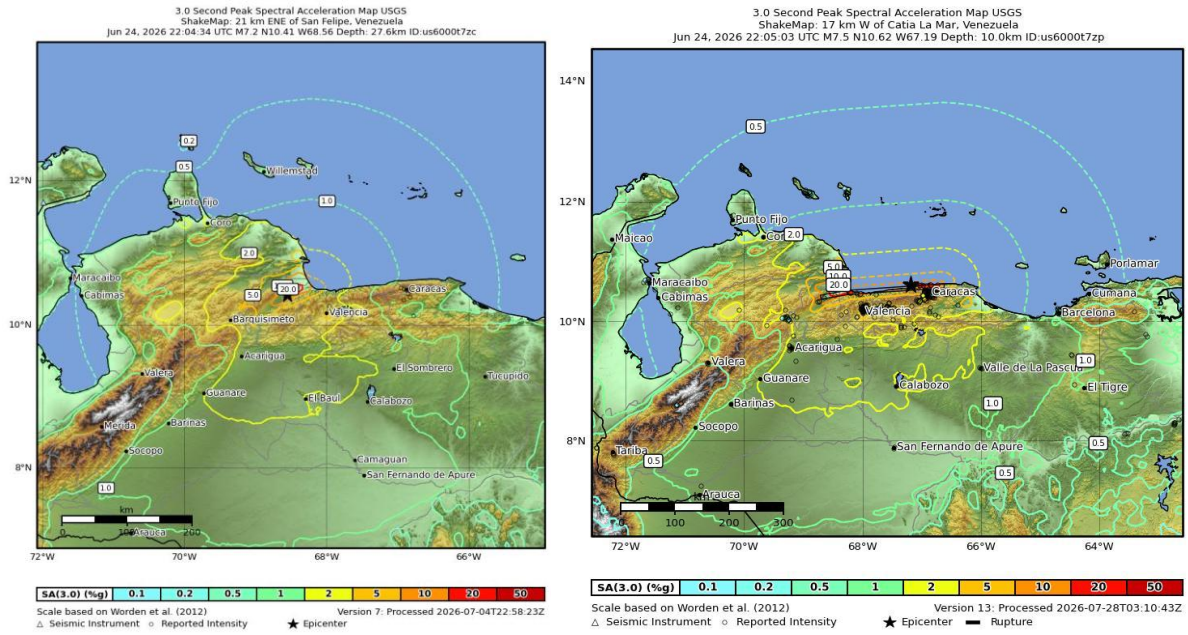
(a) (b)

Figura 6-22. Mapas de velocidad máxima del suelo (PGV) de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos.



(a) (b)

Figura 6-23. Mapas de aceleración pseudoespectral (PSA) en T = 1.0 s de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos.



(a) (b)

Figura 6-24. Mapas de aceleración pseudoespectral (PSA) a T = 3.0 s de los eventos (a) M7.2 y (b) M7.5. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos.

6.3 Registros de movimientos del suelo y mediciones de intensidad correspondientes

Los registros de movimiento del terreno de las estaciones descritas en la sección 6.2.1.2 se procesaron utilizando el kit de herramientas gmprocess (Heath et al., 2020). En las estaciones con instrumentos co-localizados, se dio preferencia a los canales del acelerómetro (HN y BN) si la distancia epicentral correspondiente era menor o igual a 600 km. Antes de su procesamiento, los registros fueron preseleccionados. Se excluyeron los registros con una tasa de cruces por cero inferior a 0.1 Hz y/o evidencia de recorte de la señal. De las 12 estaciones, solo una (WI-BIM) se rechazó por recorte. Aunque el USGS clasifica estos eventos como una secuencia doble, el análisis preliminar indicó que las ondas no podían separarse claramente en ninguna de las estaciones seleccionadas. Dada la compleja superposición de los trenes de ondas, decidimos procesar la serie temporal como un registro único de larga duración.

El procesamiento de los registros de movimiento del terreno siguió las recomendaciones de Ancheta et al. (2013) y de Rekoske et al. (2020). Los pasos incluyeron la corrección de la línea basal (eliminación de la media y la tendencia lineal) de los registros sin procesar, la corrección de la respuesta del instrumento, la verificación de la relación señal-ruido (SNR) (SNR > 3), la aplicación de un filtro Butterworth de 5 polos de paso alto y paso bajo acausal en el dominio de la frecuencia y una corrección final de la línea basal mediante la eliminación de la media del ruido previo al evento y la eliminación de la tendencia utilizando un polinomio de sexto orden como lo describen Ancheta et al. (2013). Las ventanas de ruido, la SNR y las frecuencias de esquina se determinaron de acuerdo con Heath et al. (2020). La opción utilizada para la selección de la frecuencia de corte de paso alto en gmprocess fue “solamente SNR" y se hicieron comprobaciones visuales (por un ser humano) para todos los registros. Los resultados de la herramienta de verificación visual gmprocess están disponibles en nuestro repositorio DesignSafe. Las Figura 6-25 a la Figura 6-28 muestran las series temporales de aceleración procesadas para las 11 estaciones.

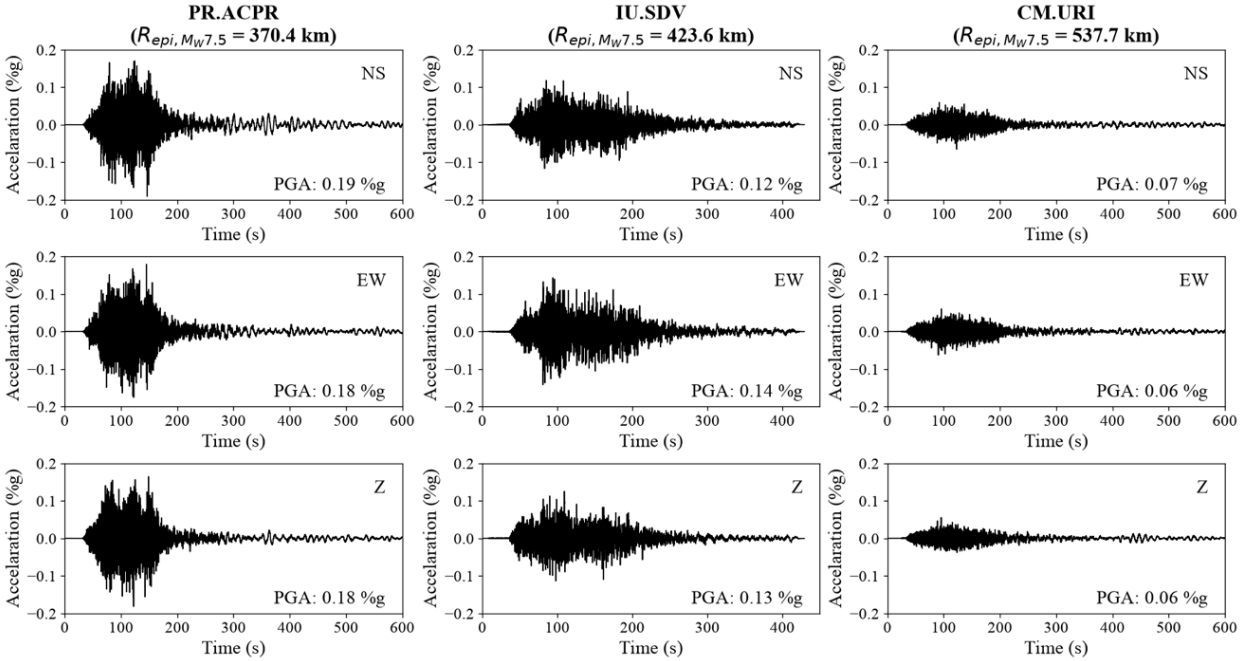


Figura 6-25. Series temporales de aceleración de las estaciones ACPR, SDV y URI.

Se calcularon medidas de intensidad de movimiento del suelo comúnmente utilizadas (IM), como la aceleración pseudoespectral amortiguada al 5% (PSA) en diferentes períodos, la aceleración máxima del suelo (PGA), la velocidad máxima del suelo (PGV), la duración significativa del 5% al 95% (D_{5-95}), la velocidad absoluta acumulada (CAV) y la intensidad de Arias (I_A) para todos los registros procesados (Tabla 6-3 y Tabla 6-4). Debido a las grandes distancias epicentrales (R_{epi} ≥ 280 km), los registros de movimiento del suelo procesados presentan una baja intensidad. La PGA horizontal máxima (0.21 %g) se registró en el componente EW de la estación GRGR en Granada, ubicada en un R_{epi}, **M**7.5 de 627 km con una inferencia V_{s30} de 505 m/s. Las estaciones ACPR en Aruba (R_{epi}, **M**7.5 = 370 km, V_{s30} = 298 m/s) y OCA en Colombia (R_{epi}, **M**7.5 = 722.5 km, V_{s30} = 466 m/s) registraron PGA similares. Las estaciones más cercanas a los epicentros de los eventos (ACPR, SDV y URI) reportaron IM (PGA, PGV y PSA-3) más bajos que los estimados por los ShakeMaps (Figura 6-21 a Figura 6-24).

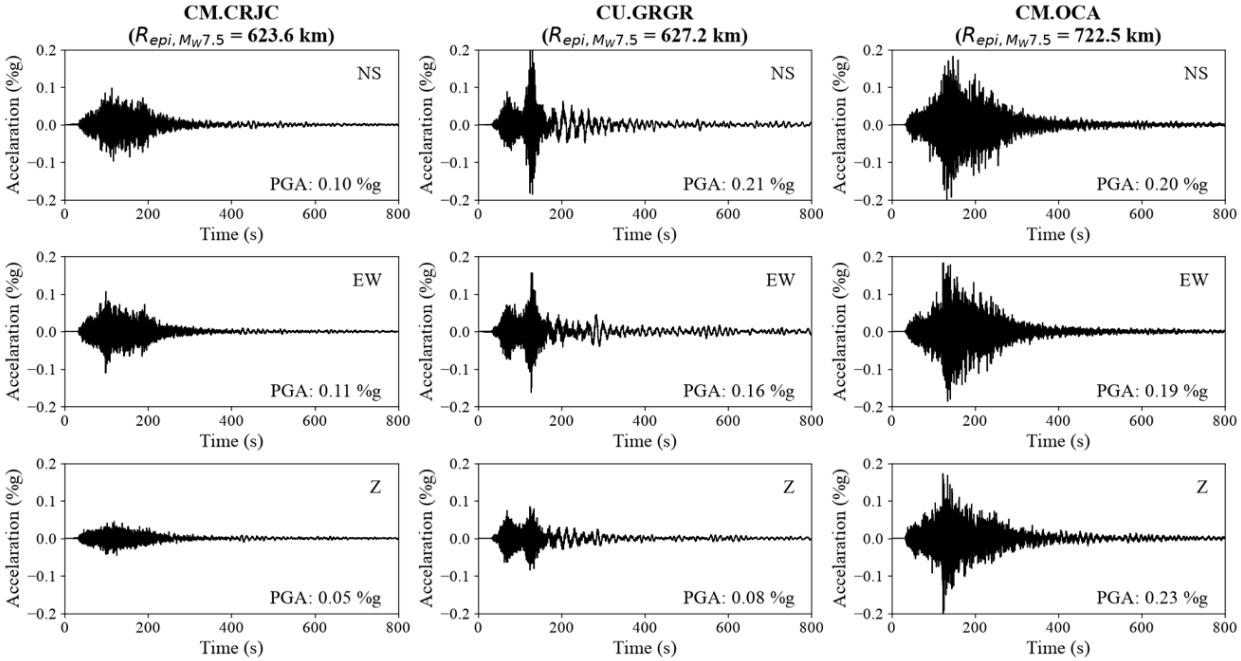


Figura 6-26. Series temporales de aceleración de las estaciones CRJC, GRGR y OCA.

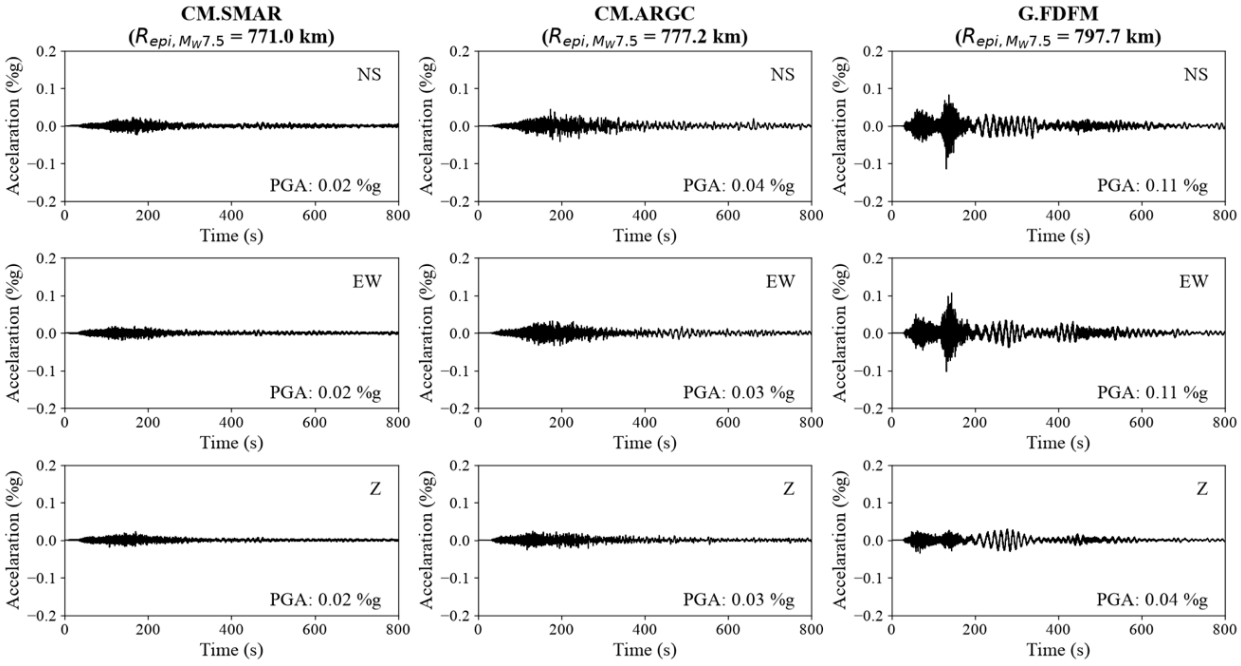


Figura 6-27. Series temporales de aceleración de las estaciones SMAR, ARGC y FDFM.

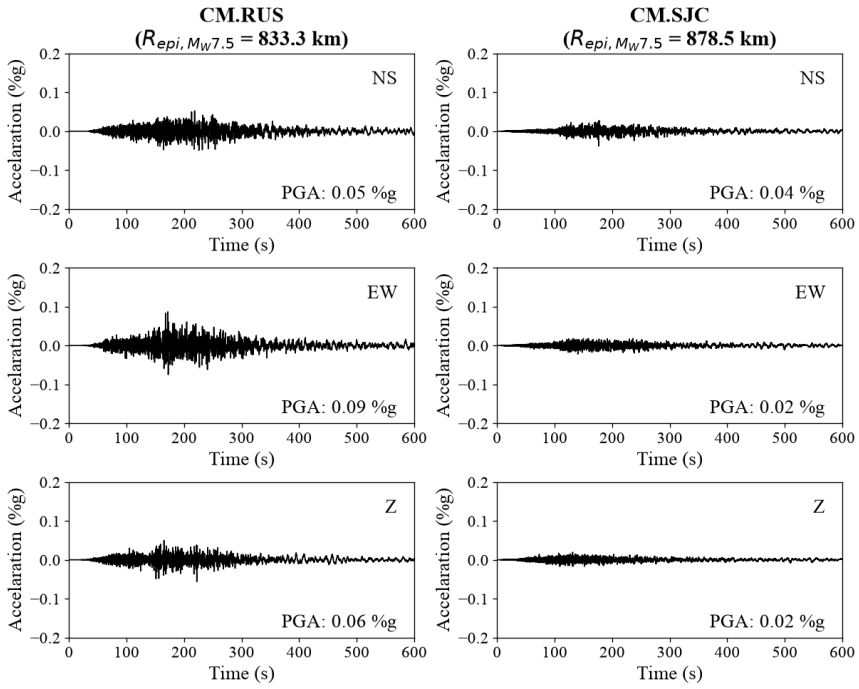


Figura 6-28. Series temporales de aceleración de las estaciones RUS y SJC.

Tabla 6-3. Medidas de intensidad (Parte 1)

Neto.	Código	R_{epi} (km)		PGA (%g)			PGV (cm/s)			PSA – 3s (%g)		
		M7.2	M7.5	EW	NS	Z	EW	NS	Z	EW	NS	Z
PR	ACPR	280.4	370.4	0.19	0.18	0.18	0.52	0.36	0.32	0.07	0.08	0.11
IU	SDV	283.5	423.6	0.12	0.14	0.13	0.35	0.49	0.30	0.08	0.16	0.09
CM	URI	401.8	537.7	0.06	0.07	0.06	0.18	0.21	0.19	0.03	0.07	0.05
CM	CRJC	477.9	623.6	0.11	0.10	0.05	0.18	0.33	0.17	0.04	0.06	0.04
CU	GRGR	777.4	627.2	0.21	0.16	0.08	1.25	1.07	0.62	0.08	0.07	0.04
CM	OCA	575.5	722.5	0.19	0.20	0.23	0.30	0.34	0.34	0.05	0.06	0.06
CM	SMAR	625.4	771.0	0.02	0.02	0.02	0.13	0.19	0.11	0.02	0.03	0.04
CM	ARGC	626.4	777.2	0.03	0.04	0.03	0.27	0.33	0.17	0.07	0.06	0.07
G	FDFM	935.3	797.7	0.11	0.11	0.04	0.73	0.74	0.61	0.04	0.04	0.03
CM	RUS	705.8	833.3	0.09	0.05	0.06	0.26	0.25	0.22	0.10	0.08	0.04
CM	SJC	727.9	878.5	0.02	0.04	0.02	0.13	0.19	0.13	0.04	0.04	0.02

%g: porcentaje de aceleración de la gravedad
cm/s: centímetros por segundo
km: kilómetros
M: magnitud del momento
R_{epi}: distancia epicentral
PGA: aceleración máxima del suelo
PGV: velocidad máxima del suelo
PSA: Aceleración pseudoespectral amortiguada al 5 % con un período de 3 segundos

Los espectros de respuesta PSA con amortiguación del 5 % de los registros se muestran en las Figura 6-29 a Figura 6-32. Las estaciones ACPR y SDV mostraron una pequeña variación en su contenido de frecuencia con la dirección, con períodos predominantes más altos en la componente norte-sur (0.8 y 0.6 s en norte-sur y 0.4 y 0.3 en este-oeste, respectivamente). Las estaciones GRGR, RUS y SJC también mostraron un período predominante claro de aproximadamente 0.2, 1.2 y 1.5 s, respectivamente.

Tabla 6-4. Medidas de intensidad (Parte 2)

Neto	Código	R_{epi} (km)		D_{5-95} (s)			CAV (g·s)			I_A (cm/s)		
		M7.2	M7.5	EW	NS	Z	EW	NS	Z	EW	NS	Z
PR	ACPR	280.4	370.4	302	211	179	0.08	0.08	0.07	0.041	0.041	0.035
IU	SDV	283.5	423.6	158	155	165	0.05	0.05	0.04	0.025	0.031	0.020
CM	URI	401.8	537.7	447	465	484	0.03	0.03	0.03	0.005	0.005	0.004
CM	CRJC	477.9	623.6	202	247	435	0.05	0.05	0.03	0.013	0.015	0.004
CU	GRGR	777.4	627.2	344	498	465	0.08	0.07	0.05	0.029	0.022	0.010

Neto	Código	R_{epi} (km)		D_{5-95} (s)			CAV (g·s)			I_A (cm/s)		
		M7.2	M7.5	EW	NS	Z	EW	NS	Z	EW	NS	Z
CM	OCA	575.5	722.5	179	186	262	0.09	0.10	0.09	0.056	0.064	0.040
CM	SMAR	625.4	771.0	1143	1176	1056	0.02	0.03	0.02	0.001	0.002	0.001
CM	ARGC	626.4	777.2	715	728	688	0.04	0.05	0.03	0.005	0.006	0.002
G	FDFM	935.3	797.7	512	546	543	0.06	0.06	0.04	0.014	0.013	0.006
CM	RUS	705.8	833.3	401	519	501	0.06	0.05	0.04	0.014	0.009	0.006
CM	SJC	727.9	878.5	847	667	993	0.03	0.03	0.02	0.002	0.002	0.001

CAV: velocidad absoluta acumulada
cm/s: centímetros por segundo
D_{5-95}: duración significativa entre los niveles del 5 % y el 95 % de intensidad de Arias
I_A: Intensidad de Arias
km: kilómetro
M: magnitud del momento
s: segundo
R_{epi}: distancia epicentral

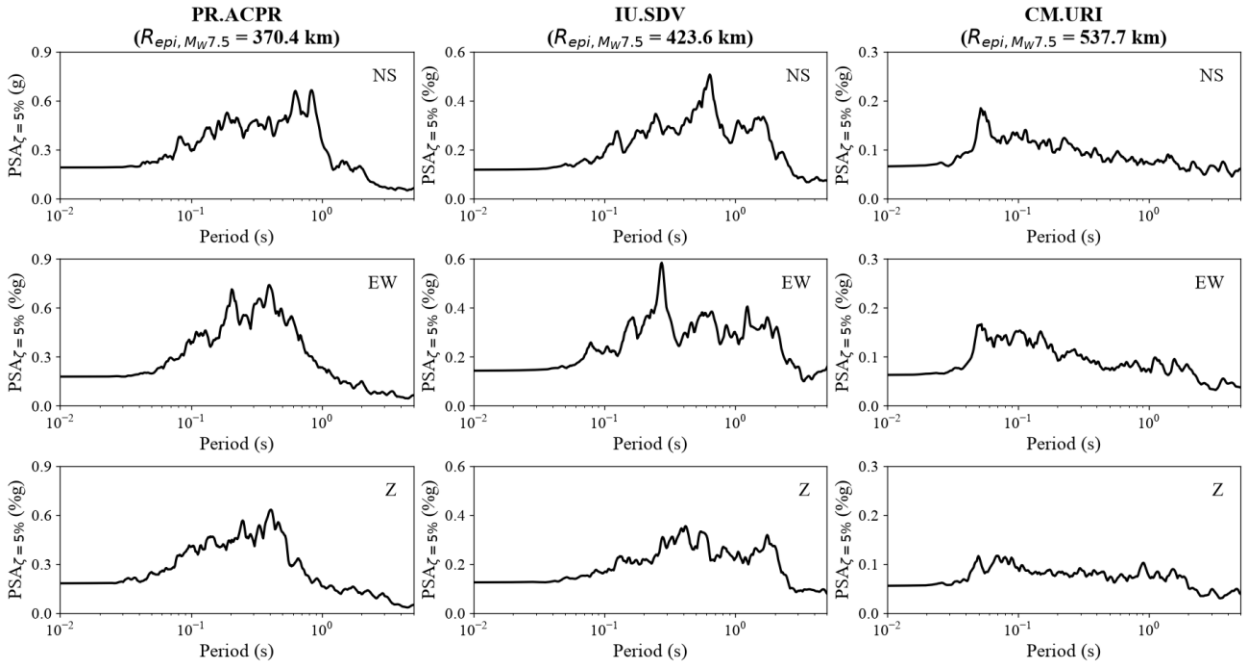


Figura 6-29. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5% de las estaciones ACPR, SDV y URI. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación.

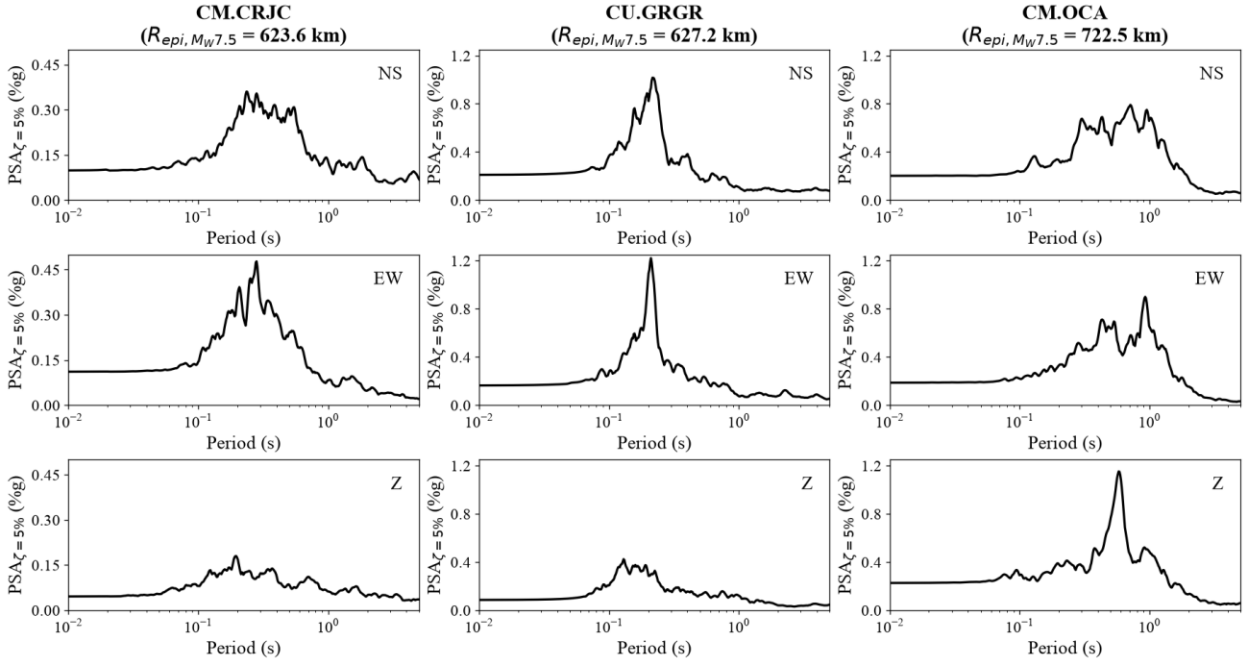


Figura 6-30. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5% de las estaciones CRJC, GRGR y OCA. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación.

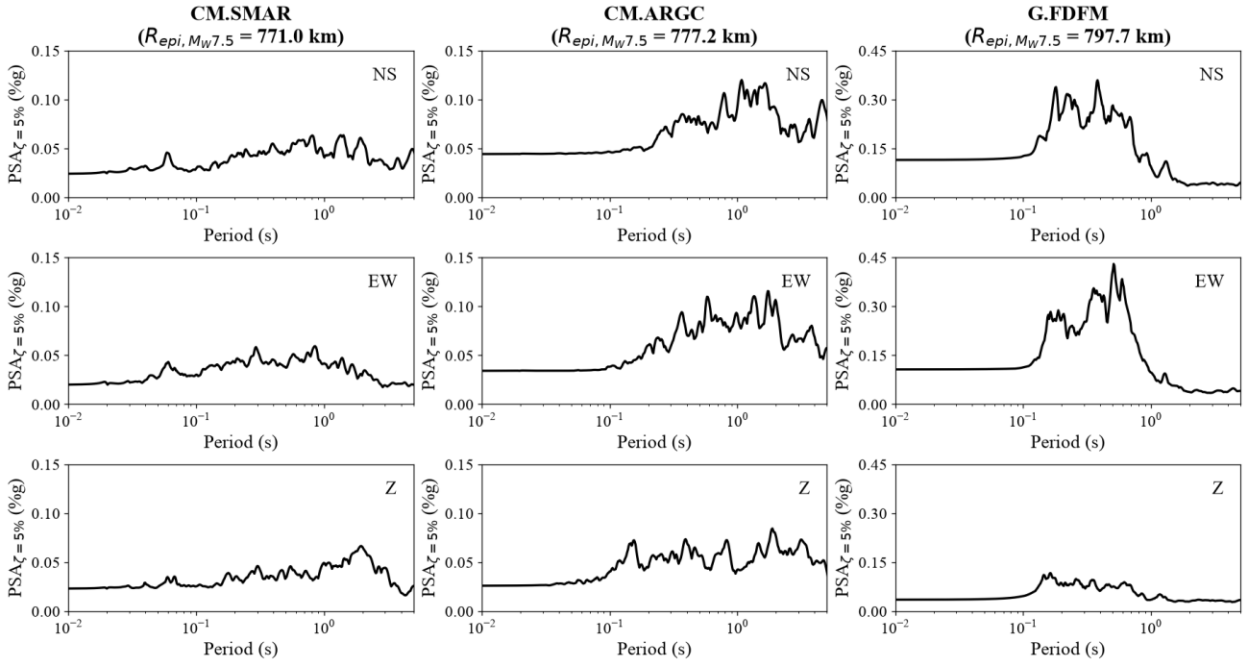


Figura 6-31. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5 % de las estaciones SMAR, ARGC y FDFM. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación.

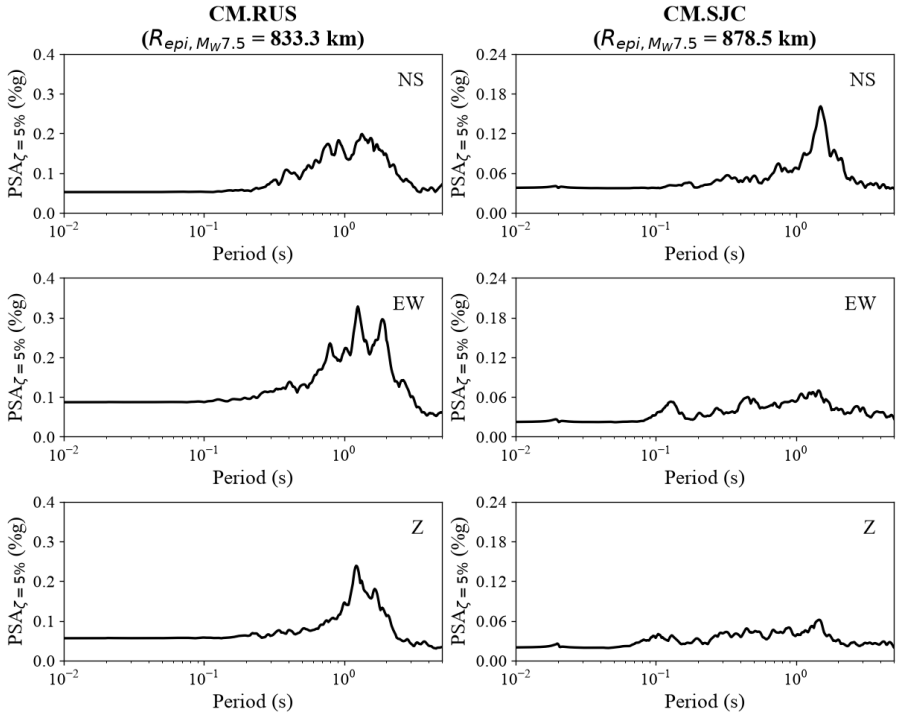


Figura 6-32. Espectros de respuesta de aceleración pseudoespectral (PSA) con amortiguación del 5 % de las estaciones RUS y SJC. Tenga en cuenta que la escala del eje Y varía para cada estación.

6.4 Factores potenciales que afectan las caracter í sticas del movimiento del suelo

Las características de los movimientos del suelo generados por los terremotos de San Felipe y Catia La Mar de 2026 pueden haber estado influenciadas por varios factores relacionados con la fuente, la trayectoria y el sitio, más allá de la magnitud y la distancia por sí solas. Esta sección analiza tres mecanismos que son particularmente relevantes para la interpretación de las observaciones disponibles: los efectos de campo cercano y la directividad, la amplificación inducida por la cuenca y los efectos de propagación de ondas, y la posible modificación de los movimientos del suelo asociados con el desencadenamiento de la licuación. Estos factores proporcionan un marco para evaluar por qué la intensidad del temblor, el contenido de frecuencia, la duración y los patrones de daños pueden haber variado en las zonas afectadas a pesar de la limitada disponibilidad de registros instrumentales cercanos a la fuente.

6.4.1 Efectos de fallas cercanas en los movimientos del terreno

Es bien sabido que en el entorno cercano a una falla, particularmente cerca de una ruptura caracterizada por directividad hacia adelante, los movimientos del suelo tienen características distintivas y pueden provocar un mayor daño (Sommerville et al., 1997; Bray y Rodríguez-Marek 2004). Los efectos cercanos a la falla incluyen la polarización en direcciones específicas, las distribuciones espaciales del movimiento sísmico del terreno basadas en la dirección de la ruptura de la falla y la dirección del deslizamiento en la falla en relación con el sitio, y características de tipo pulso del movimiento del suelo (y efectos subsiguientes en la aceleración pseudoespectral;

Kramer y Stewart 2024). La zona cercana a la falla se ha definido ampliamente como el área dentro de una distancia de aproximadamente 20 km de la ruptura (Bray y Rodríguez-Marek 2004). Dada la extensión de la ruptura de la falla asociada con el evento de **M**7.5 de junio de 2026, la dirección hacia el este de la ruptura y su ubicación en relación con áreas densamente pobladas en La Guaira, se deben examinar los efectos cercanos a la falla como posibles contribuyentes a las características del movimiento del suelo y al desempeño de la infraestructura civil en las áreas más afectadas.

En terremotos anteriores se han documentado efectos cercanos a la falla, lo que proporciona evidencia del impacto de los movimientos sísmicos pulsantes en el desempeño de los sistemas de infraestructura civil; por ejemplo, los terremotos de Northridge de 1994, Kobe de 1995, Chi-Chi de 1999 y, más recientemente, la secuencia sísmica de Kahramanmaraş de 2023. Los esfuerzos por caracterizar los movimientos del suelo con forma de pulso se centran en analizar las características del pulso, es decir, su período y amplitud, así como en comprender la probabilidad de experimentar un pulso (Shahi y Baker 2014). Además, Rodríguez-Marek y Bray (2006) descubrieron que la respuesta de los depósitos sedimentarios cercanos a la superficie afecta precisamente la amplitud y el período de los pulsos de directividad hacia adelante. El análisis de la intersección entre las condiciones locales del terreno en La Guaira y los efectos cercanos a la falla debería ser un área prioritaria para futuras investigaciones. Según Rodríguez-Marek y Bray (2006), "los sitios con suelo rígido tienden a amplificar la velocidad máxima del terreno y aumentar el período de los movimientos de tipo pulsante, particularmente cuando el período del movimiento de la roca coincide con el período de degradación del sitio". Los mismos autores indican que la amplificación es limitada en lugares con suelos blandos debido a la resistencia dinámica del suelo débil y a la disipación de energía que se produce durante los fuertes movimientos sísmicos. Una mejor comprensión de la variabilidad espacial de los suelos en La Guaira, tanto a escala regional como a escalas más locales, será esencial para desvelar las complejidades de la respuesta sísmica del sitio ante movimientos del terreno de directividad frontal cercanos a la falla. Lamentablemente, en el momento de la finalización de este informe, no se dispone de registros de movimientos sísmicos en La Guaira.

6.4.2 Efectos de cuenca

Hace casi 60 años, el 29 de julio de 1967, se produjo un terremoto con una magnitud estimada de entre 6.4 y 6.6 a 56 km al norte de Caracas, Venezuela (Genatios et al., 2017). El terremoto no solo causó más de 200 muertes y daños extensos en la ciudad y en todo el Valle de Caracas (Duval et al., 2001; Genatios et al., 2017), sino que también sirvió como una base importante para las investigaciones sobre cómo la estructura geológica de la cuenca influye en la propagación de ondas sísmicas y la amplificación del movimiento del suelo dentro del Valle de Caracas en los años posteriores (Papageorgiou y Kim, 1991a,b, 1993). Los primeros estudios de Papageorgiou y Kim examinaron la propagación y amplificación de las ondas sísmicas del terremoto de 1967 en el Valle de Caracas (Papageorgiou y Kim, 1991a para las ondas SH, y Papageorgiou y Kim, 1993 para las ondas P y SV), utilizando modelos 2D lateralmente finitos con estructura geológica variable en lugar de modelos simples estratificados verticalmente (1D). Estos estudios describieron el distrito de Palos Grandes del Valle de Caracas mediante una sección transversal norte-sur en 2D con dos variaciones, con y sin una capa sedimentaria delgada y más blanda en la parte superior de la cuenca, ambas incrustadas en un semiespacio uniforme sin amortiguación (véase la

Figura 6-33para más detalles), y consideraron tanto ondas planas como fuentes de línea antiplanar como ondas incidentes. Demostraron las limitaciones del enfoque 1D tanto para incidencia no vertical como para incidencia vertical con interfaz roca-sedimento curva, mediante una estructura mucho más detallada y máximos mayores en las relaciones de amplificación en relación con la respuesta del afloramiento rocoso, que lo predicho por los modelos de respuesta del sitio 1D (Papageorgiou y Kim, 1991a). Además, descubrieron que el borde norte del valle, con una pendiente pronunciada, genera ondas superficiales más fuertes a través de reflexiones, y que los efectos 2D son más pronunciados para las ondas P y SV que se propagan horizontalmente e inciden en o cerca del ángulo crítico (Papageorgiou y Kim, 1993), lo que proporciona un marco para comprender cómo la geometría del valle 2D y la incidencia de las ondas pueden influir en la amplificación sísmica en Palos Grandes, Caracas.

	ρ (gm/cm^3)	α(m/sec)	β(m/sec)	$Q_S[\xi_S]^*$
Model A				
Sediment	1.8	1775	1025	∞ [0.0]
Half-space	2.2	4000	2300	∞ [0.0]
Model B				
Thin, soft cover layer†	1.7	650	310	12 [0.042]
Sediment	1.8	1700	950	12 [0.042]
Half-space	2.2	4000	2300	∞ [0.0]

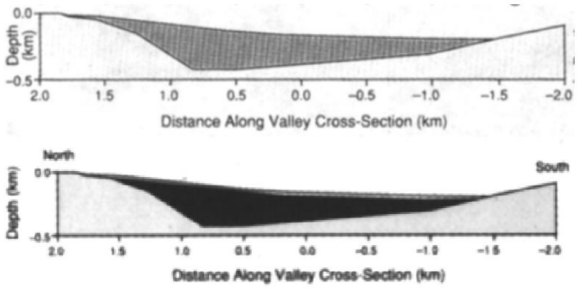


Figura 6-33. (Izquierda) Parámetros físicos y (derecha) secciones transversales norte-sur de modelos 2D para el Valle de Caracas, del modelo A (arriba a la derecha) y del modelo B (abajo a la derecha) respectivamente. Modificado a partir de la Tabla 1, la Figura 3 y la Figura 9 en Papageorgiou y Kim (1991a).

Las investigaciones posteriores combinaron las limitaciones observacionales con modelos numéricos cada vez más sofisticados para caracterizar la variabilidad espacial y la naturaleza multidimensional de la respuesta del Valle de Caracas. Duval et al. (2001) utilizaron mediciones de microtemblores para investigar los efectos del sitio en Caracas, proporcionando evidencia observacional de una respuesta sísmica espacialmente variable dentro del valle. Semblat et al. (2002) simularon además numéricamente los efectos de amplificación considerando una cuenca 2D para la propagación de ondas SH planas en la región de Palos Grandes, utilizando el método de elementos de contorno en el dominio de la frecuencia. Utilizando una capa aluvial homogénea sobre el lecho rocoso elástico (véase la Figura 6-34), encontraron una buena concordancia entre las simulaciones y las mediciones de microtemblores, y destacaron la influencia de la amortiguación de la cuenca, el módulo de corte y la incidencia en las amplificaciones del sitio. Festa et al. (2005) examinaron más a fondo la interacción entre las ondas superficiales y los límites en los modelos 2D para Caracas, y redujeron la contaminación de reflexiones espurias al incorporar una frecuencia de corte y una sobreamortiguación en los límites absorbentes. Esto puso de relieve la importancia de tener en cuenta las interacciones entre las ondas superficiales y los límites al modelar la respuesta sísmica a escala de cuenca.

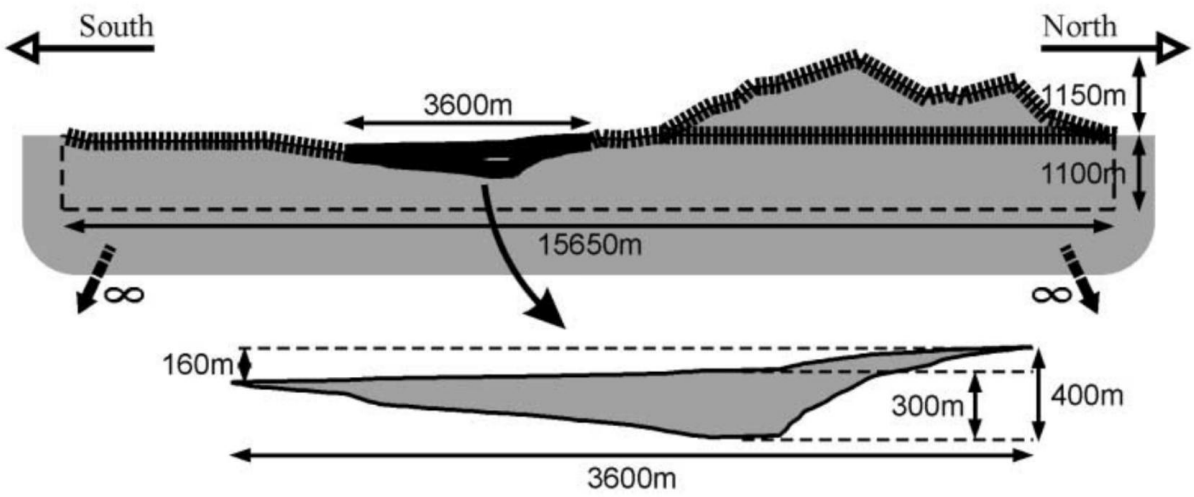


Figura 6-34. Malla de elementos de contorno para una onda SH plana, a lo largo de un perfil norte-sur de Palos Grandes, Caracas. Modificado a partir de la Figura 1 en Semblat et al. (2002).

Avanzando desde descripciones simplificadas en 1D y 2D hacia modelos numéricos que tienen en cuenta explícitamente la geometría 3D del Valle de Caracas, Delavaud et al. (2006, 2007) desarrollaron simulaciones de elementos espectrales 3D del valle e investigaron la influencia de su estructura 3D en la propagación de ondas sísmicas, mostrando que la compleja geometría de la cuenca contribuye a variaciones espaciales en la respuesta sísmica simulada. Hernández et al. (2011) consideraron los efectos del sitio 1D, 2D y 3D en los espectros de respuesta sísmica para las microzonas de Caracas, enfatizando la distinción entre la amplificación asociada con la columna sedimentaria local y los efectos adicionales que surgen de la estructura lateral y 3D de la cuenca. Cincuenta años después del terremoto de Caracas de 1967, Genatios et al. (2017) proporcionó un resumen más amplio de todas estas investigaciones previas en el Capítulo 8.5.

En conjunto, estos estudios indican que la respuesta sísmica del Valle de Caracas implica no solo la amplificación asociada con la estructura sedimentaria vertical, sino también efectos a escala de cuenca derivados de la geometría lateral, la propagación de ondas superficiales y la estructura tridimensional de la cuenca. Los estudios en 2D demuestran que la geometría del valle puede modificar la propagación y amplificación de las ondas sísmicas, mientras que las simulaciones de elementos espectrales en 3D proporcionan un marco para tener en cuenta la estructura volumétrica completa de la cuenca. Los estudios observacionales de los efectos del sitio y las comparaciones entre representaciones 1D, 2D y 3D respaldan aún más la importancia de distinguir los efectos locales de la columna sedimentaria de los fenómenos más amplios a escala de cuenca. Por lo tanto, los estudios disponibles caracterizan el Valle de Caracas como un entorno geológico complejo en el que la respuesta sísmica espacialmente variable, incluida la observada en áreas como Palos Grandes, refleja la influencia combinada de las condiciones locales del sitio y los efectos multidimensionales de la cuenca.

6.4.3 Efectos de la licuación en el movimiento del suelo

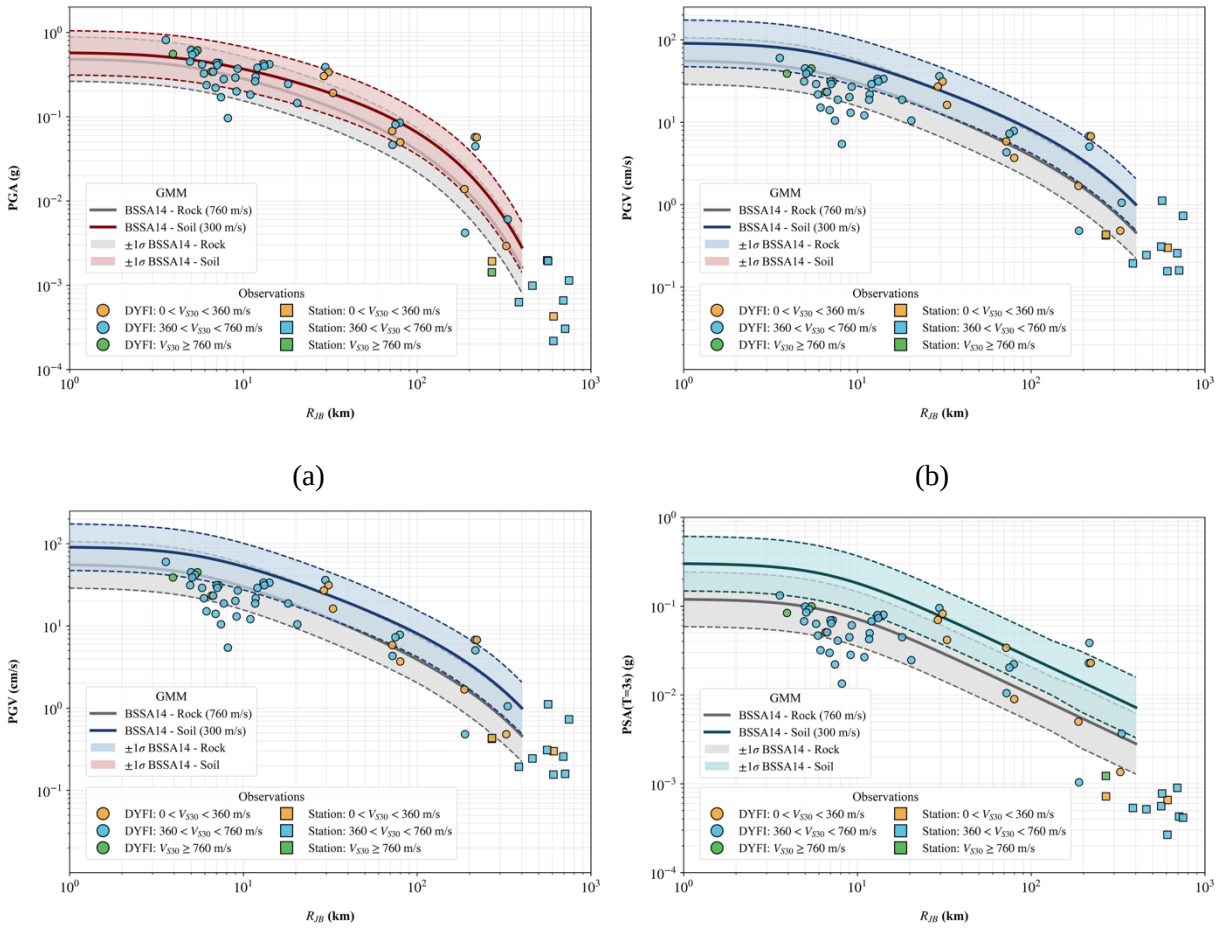
Es probable que muchas de las áreas afectadas en La Guaira alberguen suelos licuables debido a su proximidad a la costa (con probables niveles freáticos altos y la presencia de depósitos de suelo mayoritariamente granulares) y la evidencia de activación de la licuación a través de múltiples manifestaciones superficiales, como se documenta en el Capítulo 9**¡Error! No se encuentra el o rigen de la referencia.**. En este caso, observamos que, dentro de los depósitos licuables, la generación de una presión de poros positiva en exceso degrada la rigidez del suelo debido a la reducción de la tensión efectiva (además del comportamiento no lineal dependiente de la deformación). Por lo tanto, cuando se desencadena la licuación, la amplitud y el contenido de frecuencia del movimiento del terreno resultante en la superficie del suelo pueden cambiar significativamente. Por ejemplo, los componentes de alta frecuencia de un movimiento de la roca madre pueden no transmitirse a la superficie del suelo (Kramer y Stewart 2025). En el momento de la publicación de este informe, los autores no disponían de registros de movimientos del terreno para investigar los posibles efectos desencadenantes de la licuación en la intensidad del movimiento sísmico en los sitios de La Guaira. Sin embargo, estos efectos deben tenerse en cuenta en futuras investigaciones porque las amplitudes de aceleración bajas a bajas frecuencias (resultantes de los efectos desencadenantes de la licuación en los movimientos del terreno) aún pueden producir grandes desplazamientos, lo que puede ser perjudicial para el rendimiento de las estructuras enterradas y las estructuras apoyadas sobre cimientos profundos que se extienden a través de los depósitos licuables (Kramer y Stewart 2025).

6.5 Comparación de los movimientos sísmicos observados con los modelos de movimiento sísmico

Los valores registrados de PGA, PGV y PSA en periodos (T) de 01,0 y 3,0 s se compararon con cuatro modelos de movimiento del suelo (GMM) de NGA-WEST2: BSSA14 (Boore et al., 2014), CB14 (Campbell y Bozorgnia, 2014), ASK 14 (Abrahamson, Silva y Kamai, 2014) y CY14 (Chiou y Youngs, 2014). Debido a que los registros disponibles de movimientos del suelo cerca de la fuente eran limitadas, incorporamos 59 valores de intensidad macrosísmica (Intensidad de Mercalli modificada, MMI) reportados por el USGS con base en los informes DYFI. Los valores MMI corresponden a promedios de las respuestas individuales de DYFI dentro de un bloque geocodificado de 10 km. Los MMI se convirtieron a PGA, PGV y PSA utilizando la ecuación de conversión de intensidad de movimiento del suelo (GMICE) derivada por Worden et al. (2012). Siguiendo la implementación de ShakeMap del USGS (Worden et al., 2020), la distancia y la magnitud se recortaron a un rango de 10 a 300 km y MW de 3,0 a 7,3 para que coincidieran con los datos empíricos válidos utilizados por Worden et al. (2012) y para evitar la extrapolación.

Las Figura 6-35 a Figura 6-38 muestran la dependencia de la distancia de la PGA, PGV, PSA(T=1s) y PSA(T=3s) en formato RotD50 estimadas para el evento de magnitud 7.5 y las condiciones del sitio de suelo (V_{s30} = 300 m/s) y roca (V_{s30} = 760 m/s), incluyendo límites de ± una desviación estándar. La distancia más cercana a la ruptura (RRUP) y la distancia Joyner-Bore (RJB) se estimaron utilizando el modelo de falla finita del USGS con OpenQuake Engine (Pagani et al., 2014). Los datos registrados se subdividieron en tres categorías según los valores de V_{S30}: (1) $V_{s30} < 360$ m/s, (2) $360 \leq V_{s30} < 760$ m/s y (3) $V_{s30} \geq 760$ m/s.

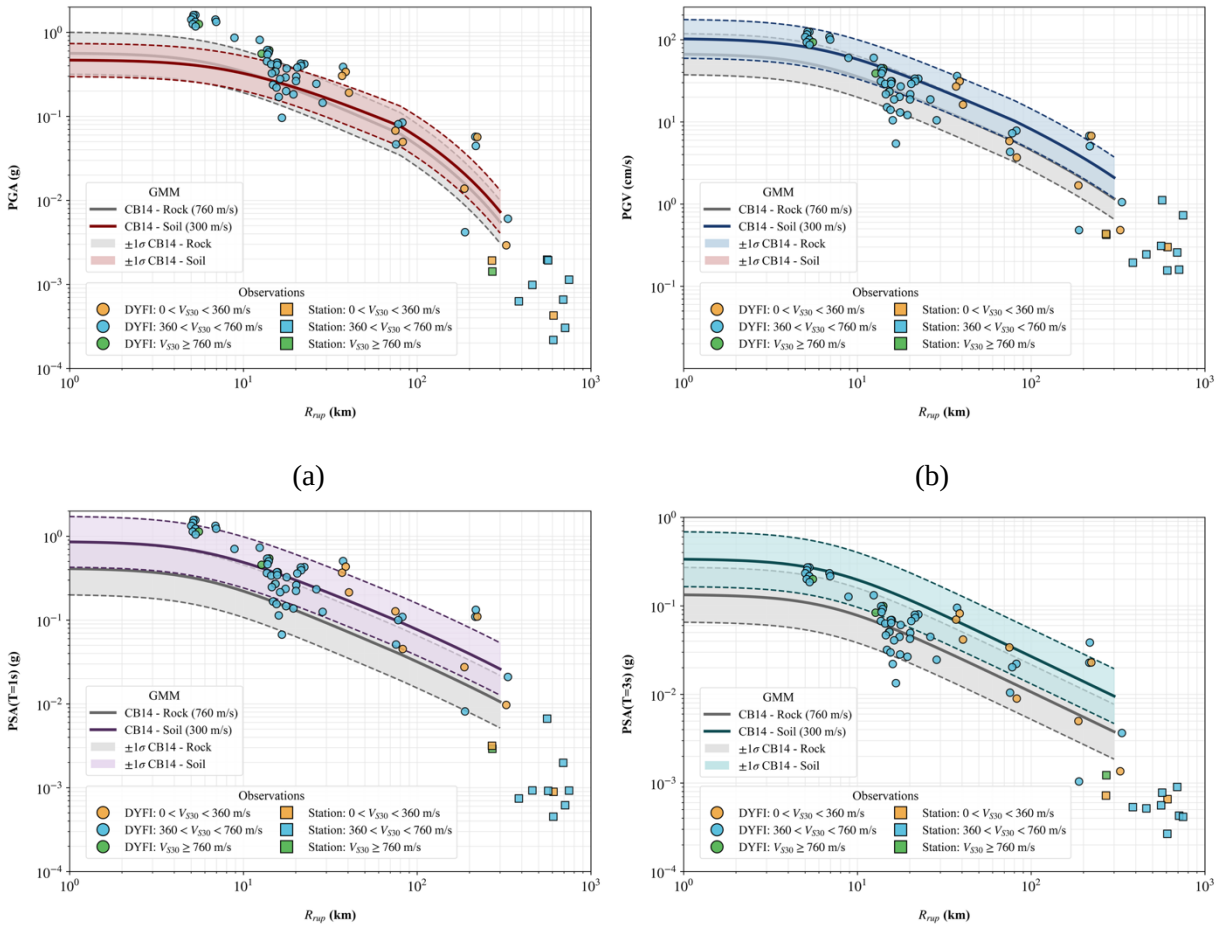
La mayoría de los datos de DYFI se situaron dentro del rango del percentil 16 al 84 (mediana ± una desviación estándar), excepto la PGA a distancias cortas ($R_{rup}\leq$ 10 km) para los modelos CB14, ASK16 y CY14. Cabe destacar que las observaciones de las dos únicas estaciones de medición de movimientos del suelo (PR-ACPR e IU-SDV) dentro del rango de aplicabilidad de los modelos cayeron por debajo del percentil 16 esperado de los cuatro modelos de movimiento del suelo, lo que sugiere una sobreestimación a largas distancias.



(a) (b)

(c) (d)

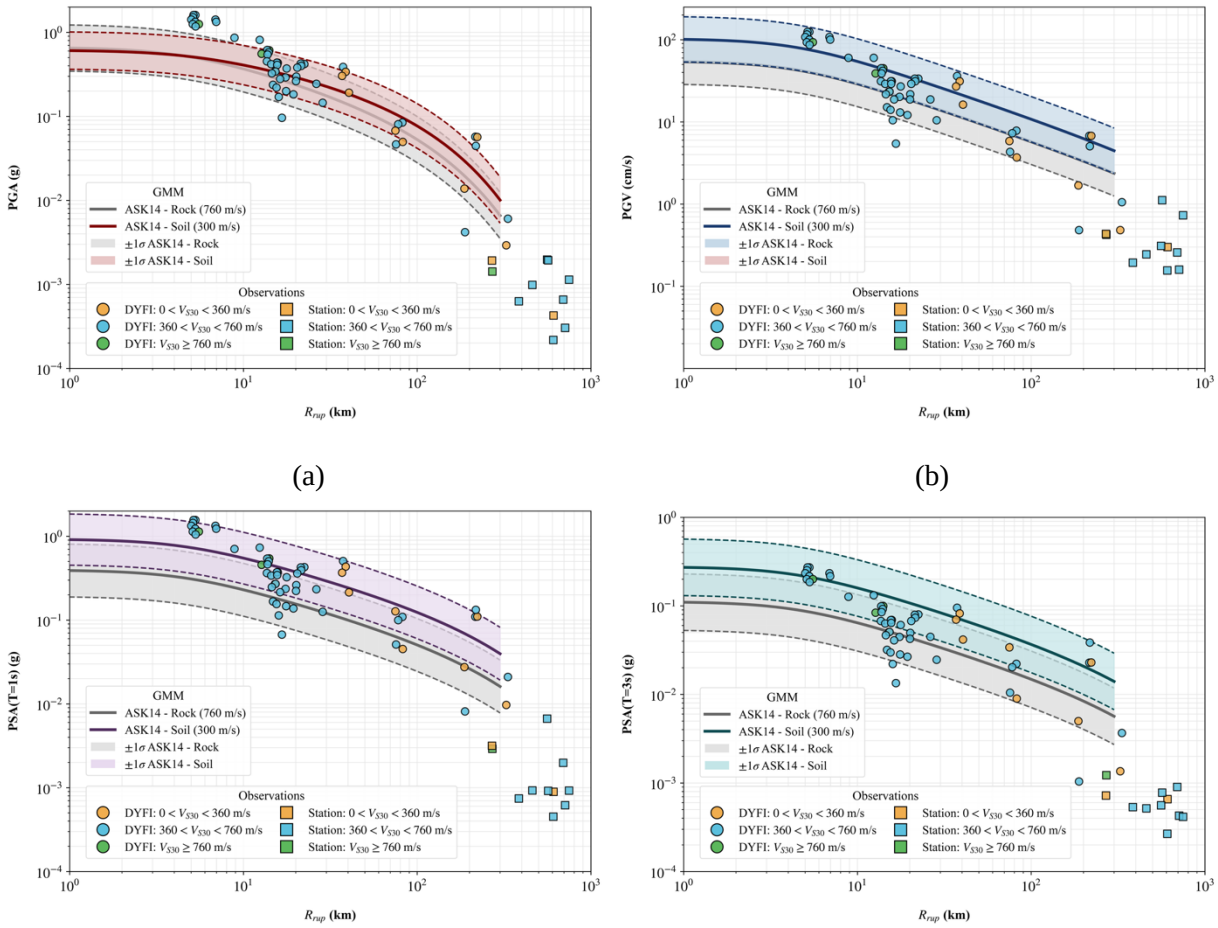
Figura 6-35. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo BSSA14 GMM para condiciones de roca (V_{s30} = 760 m/s) y suelo (V_{s30}= 300 m/s).



(a) (b)

(c) (d)

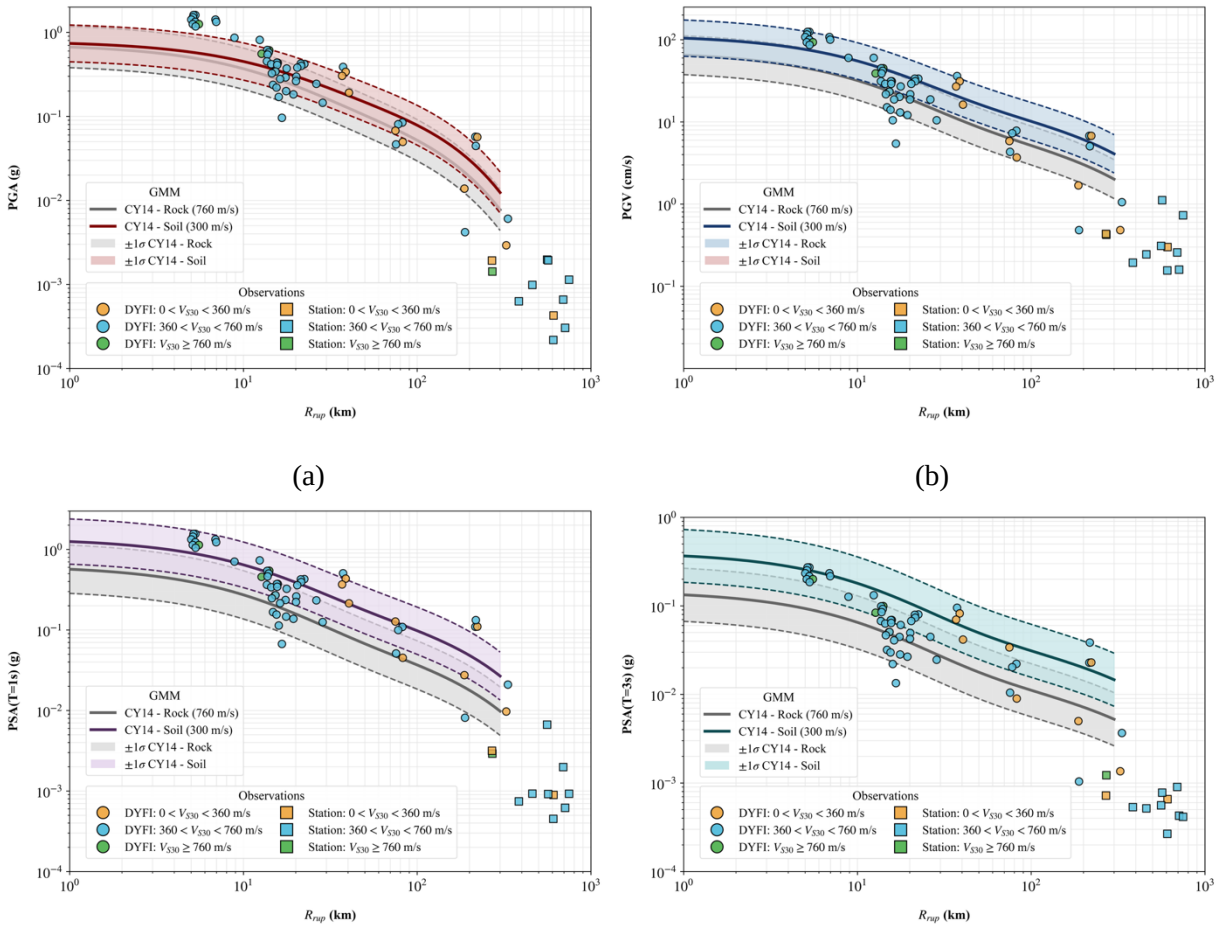
Figura 6-36. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo GMM CB14 para condiciones de roca (V_{s30}= 760 m/s) y suelo (V_{s30}= 300 m/s).



(a) (b)

(c) (d)

Figura 6-37. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo GMM ASK14 para condiciones de roca (V_{s30}= 760 m/s) y suelo (V_{s30}= 300 m/s).



(a) (b)

(c) (d)

Figura 6-38. Comparación de los movimientos del suelo observados con las estimaciones del modelo GMM CY14 para condiciones de roca (V_{s30}= 760 m/s) y suelo (V_{s30}= 300 m/s).

6.6 Influencia de los efectos del sitio en los patrones de movimiento del terreno y daños

En las cuencas sedimentarias, las variaciones en el espesor del sedimento, el período fundamental del sitio, la geometría de la cuenca y la rigidez del suelo pueden modificar los patrones de vibración y contribuir a daños espacialmente variables, particularmente cuando los períodos estructurales coinciden con las características de respuesta del sitio. Esta sección evalúa la evidencia de estos efectos comparando las observaciones de terremotos venezolanos anteriores con los patrones de daños preliminares documentados después de los terremotos de San Felipe y Catia La Mar de 2026.

6.6.1 Efectos locales observados en terremotos anteriores en Venezuela

Seed et al. (1972) investigaron la influencia de los efectos locales del sitio en Caracas durante el terremoto de Caracas de magnitud 6.4 de 1967, que causó el colapso de cuatro edificios de 10 a 12 pisos y aproximadamente 200 muertes. Examinaron el patrón espacial de los edificios dañados de

diferentes alturas y lo correlacionaron con la profundidad del sedimento. La Figura 6-39 (que corresponde a la figura 3 de Seed et al., 1972) muestra que la mayoría de los edificios dañados de más de 14 pisos se concentraron en el área de Palos Grandes, donde las profundidades de sedimentos son mayores (200-300 m).

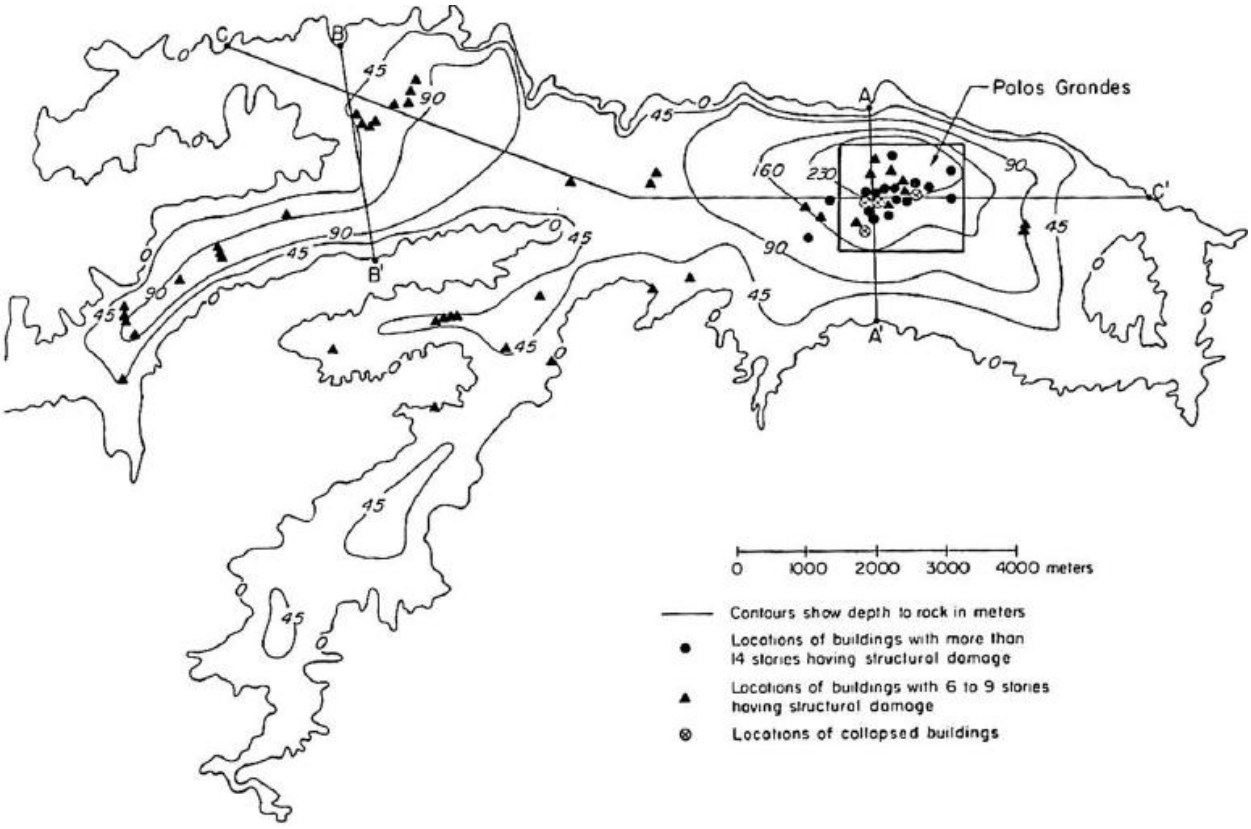


Figura 6-39. Patrón de daños observado en el terremoto de Caracas de 1967 (Seed et al., 1972).

Para cuantificar la relación entre las condiciones del sitio y los daños en los edificios, Seed et al. (1972) definió la Intensidad de Daño Estructural (SDI) como:

$$SDI = \frac{Número\ de\ edificios\ que\ sufren\ daños\ estructurales}{Número\ total\ de\ edificios}$$

y lo evaluó para diferentes categorías de altura de edificios y diferentes áreas de la cuenca.

La Figura 6-40 (que corresponde a la figura 12 de Seed et al., 1972) resume los valores de SDI obtenidos por Seed et al. (1972) en función de la altura del edificio y la profundidad del sedimento (junto con el período fundamental estimado correspondiente del depósito de suelo). La figura muestra que el SDI aumenta notablemente para edificios de 10 o más pisos una vez que la profundidad del sedimento supera aproximadamente los 190 m (lo que corresponde a períodos del sitio superiores a unos 1,2 s). Este incremento es especialmente pronunciado en edificios de más de 14 plantas. En cambio, para edificios de cinco a nueve pisos, el SDI se mantiene relativamente estable en todo el rango de profundidades de sedimentos (y períodos de sitio) considerados. Estas observaciones sugieren que los efectos del sitio ejercieron una influencia importante en la

distribución de los daños (particularmente en los edificios más altos), y que los daños más graves tendían a ocurrir cuando el período fundamental de la estructura se aproximaba al del depósito de suelo subyacente. Seed et al. (1972) también mencionan que efectos de sitio similares podrían haber influido en los patrones de daño observados en Caraballeda.

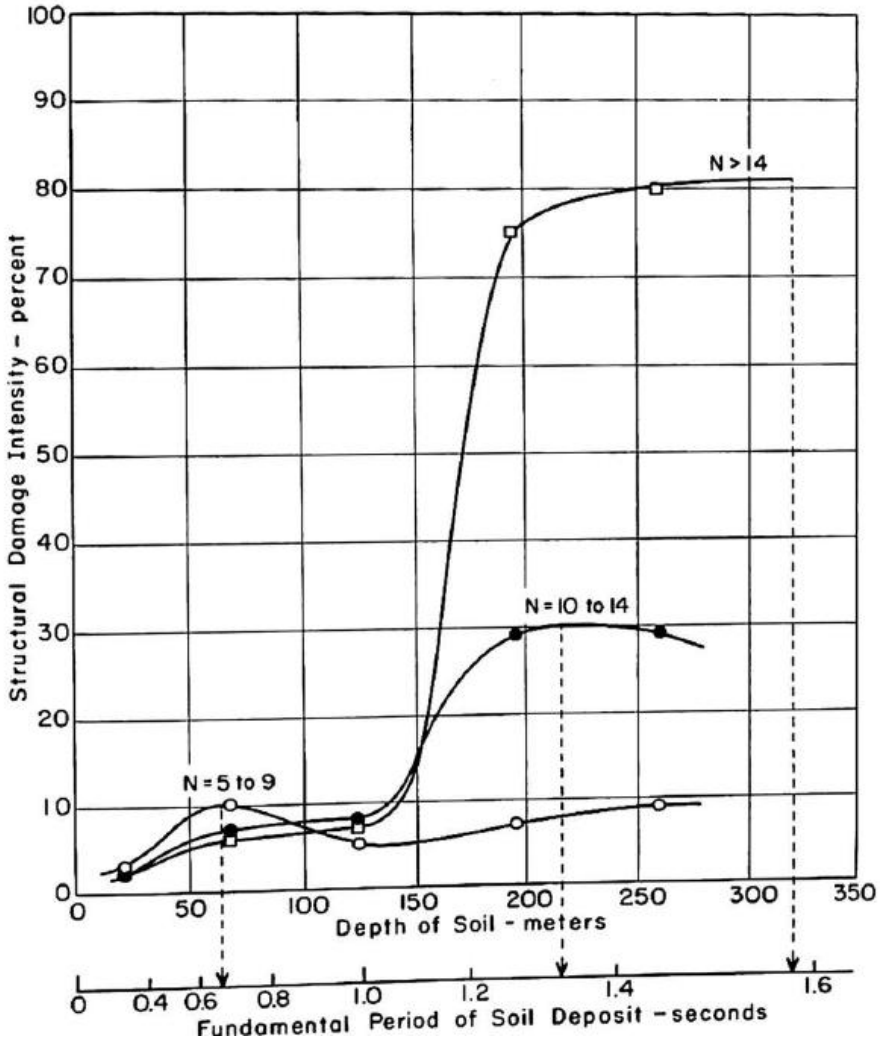


Figura 6-40. Intensidad del daño estructural en función de la profundidad del sedimento o del período fundamental del sitio para el terremoto de Caracas de 1967 (Seed et al., 1972).

6.6.2 Posibles efectos locales en el sitio durante los terremotos de 2026 en Venezuela

Para evaluar los efectos de las condiciones del sitio en Caracas durante los terremotos de 2026 de una manera análoga al enfoque de Seed et al. (1972) para el evento de 1967, creamos una base de datos de edificios dañados utilizando datos de colaboración ciudadana e imágenes satelitales. Los datos originales fueron obtenidos el 14 de julio de crisisvenzuela.org (Martínez, 2026), una plataforma digital de mapeo de crisis colaborativa desplegada para rastrear daños, colapsos

estructurales, personas desaparecidas y puntos de coordinación de ayuda tras los terremotos de San Felipe y Catia La Mar.

El conjunto de datos se filtró inicialmente por entidad federal y categoría de daños, lo que restringió el análisis a las entradas reportadas como "graves" y de "colapso total" en el Distrito Capital y Miranda. Posteriormente, cada entrada se verificó manualmente para eliminar duplicados y corregir cualquier coordenada geográfica errónea utilizando plataformas de cartografía digital (Google Maps, Google Earth, OpenStreetMap). Durante esta etapa, validamos sistemáticamente las clasificaciones de daños generadas por la comunidad utilizando una combinación de imágenes enviadas a la plataforma, informes periodísticos y datos de redes sociales. Muchas estructuras que sufrieron graves daños estructurales y arquitectónicos fueron clasificadas erróneamente como "colapso total". Para este análisis, las estructuras se reclasificaron como "colapsadas" solo si presentaban una falla estructural completa o parcial de los elementos portantes, lo que provocaba que la estructura se cayera o perdiera estabilidad global según lo define la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2025). Las figuras A.1 a A.6 muestran ejemplos de edificios considerados "colapsados", mientras que las figuras A.7 a A.15 muestran edificios designados como "dañados". La base de datos final consta de 420 entradas, de las cuales 11 edificios están clasificados como derrumbados, y está disponible en nuestro repositorio de datos GEER en DesignSafe.

Las alturas de los edificios (H) se estimaron utilizando el conjunto de datos temporales Open Buildings 2.5D (Sirko et al., 2023), que emplea un modelo de aprendizaje profundo de Google Research para detectar la presencia de edificios por píxel, recuentos fraccionarios y altura a partir de imágenes de Copernicus Sentinel-2. Este conjunto de datos, que abarca el período 2016-2023, proporciona información sobre África, el sur de Asia, el sudeste asiático, América Latina y el Caribe, con una resolución espacial de aproximadamente 4 m y un error absoluto medio de 1.5 m para la altura de los edificios. Aunque el modelo solo se ha validado con conjuntos de datos de Norteamérica, Europa y Japón (Sirko et al., 2023), verificamos su aplicabilidad a Caracas comparando los resultados del modelo con datos fotográficos de 126 edificios. Este análisis indicó una altura media de planta de 3.1 m (con el 95 % de las observaciones entre 2.4 y 4 m), lo que proporciona confianza en el rendimiento del modelo en la región de estudio.

La Figura 6-41 muestra la distribución de los daños resultantes junto con el mapa de profundidad de los sedimentos para Caracas. La distribución espacial de los edificios dañados muestra una clara concentración en la parte occidental de la cuenca sedimentaria de Caracas, con una dispersión más amplia en todo ese sector. En la zona este de la ciudad, los daños se concentran principalmente alrededor de Los Palos Grandes. Todos los edificios derrumbados se encuentran dentro o inmediatamente adyacentes al área de San Bernardino (oeste) o al área de Los Palos Grandes (este); las dos zonas que contienen los mayores espesores de sedimento.

El edificio derrumbado más alto (Edificio Petunia, con una altura de entre 30 y 45 m) está situado en la zona de Los Palos Grandes, donde el espesor de los sedimentos alcanza aproximadamente los 240 m. Según el mapa de período fundamental de sitio de Caracas (Figura 6-42; Schmitz et al., 2020), esta zona se caracteriza por períodos predominantes de 1.0 a 1.5 s, que coinciden con el período fundamental esperado de esta estructura (basado en aproximaciones de período estructural comúnmente utilizadas, como T~N/10, donde N es el número de pisos, como sugieren Seed et al., 1972). En la misma zona se encuentran otros dos edificios derrumbados (Edificio Bancaribe y

Edificio Obelisco), con una altura que oscila entre los 10 y los 30 metros. Por otro lado, todos los edificios derrumbados en el área de San Bernardino tienen una altura comprendida entre los 10 y los 30 metros. El mismo mapa de periodo de sitio indica periodos fundamentales de 0.5 a 1.0 s en esta zona, lo que coincide con los periodos estructurales esperados de los edificios derrumbados. Cabe destacar que la mayoría de los edificios derrumbados (8 de 11) se encontraban dentro de las microzonas 5 y 6 (Figura 6-43).

Este sigue siendo un análisis preliminar y no permite extraer conclusiones definitivas sobre la contribución relativa de los efectos locales del sitio. Una evaluación más definitiva requeriría un control explícito de otras variables, como la antigüedad del edificio, la calidad de la construcción, el cumplimiento de las disposiciones de diseño sísmico y la influencia de los efectos de la fuente y la trayectoria en las características del movimiento del suelo. Sin embargo, la correspondencia espacial observada entre la altura del edificio, el espesor del sedimento y el período del sitio sugiere que los efectos de resonancia pueden haber jugado un papel, análogo a los patrones documentados para el terremoto de Caracas de 1967 (Seed et al., 1972).

Además de las estructuras derrumbadas, cabe destacar que un número relativamente grande de edificios dañados que no se han derrumbado se encuentran cerca de los bordes de la cuenca, particularmente en la parte occidental del valle. Esta observación plantea la posibilidad de contribuciones adicionales de los efectos de borde de cuenca (por ejemplo, Kawase, 1996) y justifica una investigación más profunda.

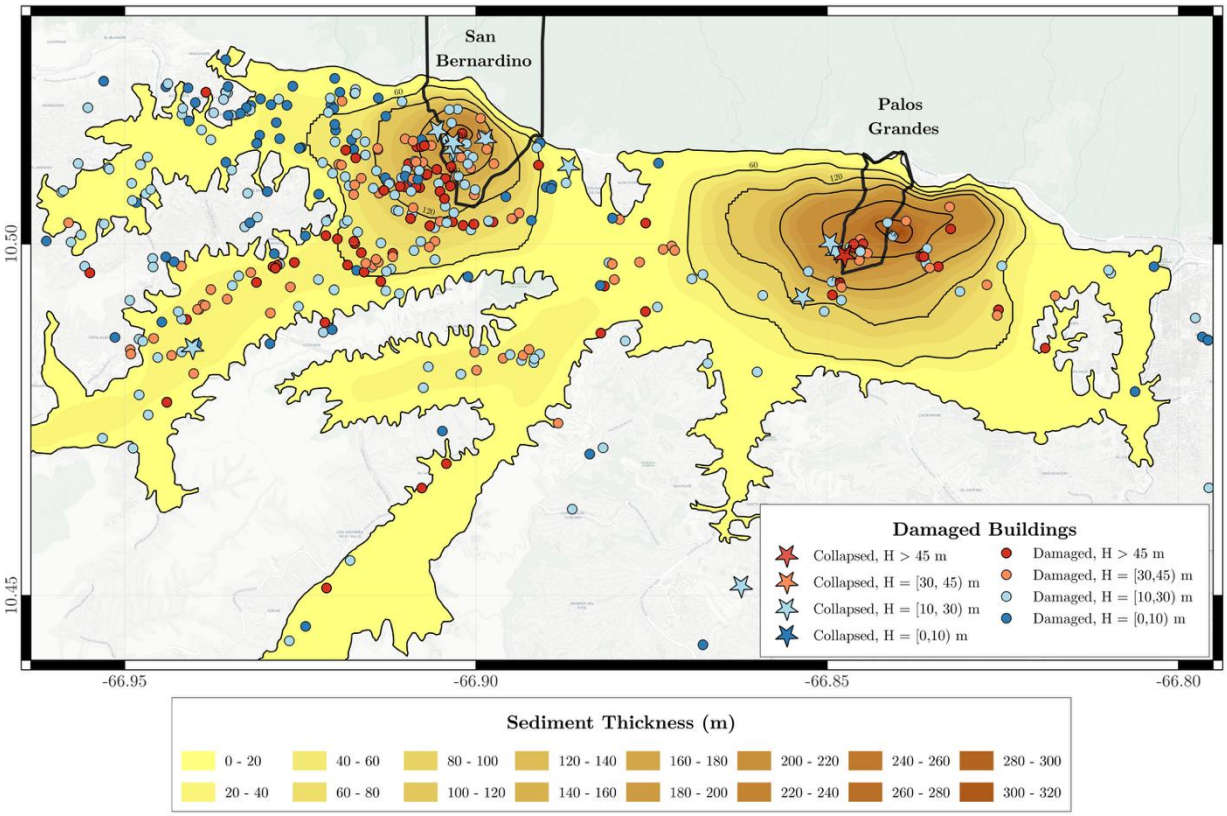


Figura 6-41. Mapa del espesor de los sedimentos (FUNVISIS, s.f.) y ubicación de los edificios dañados en Caracas.

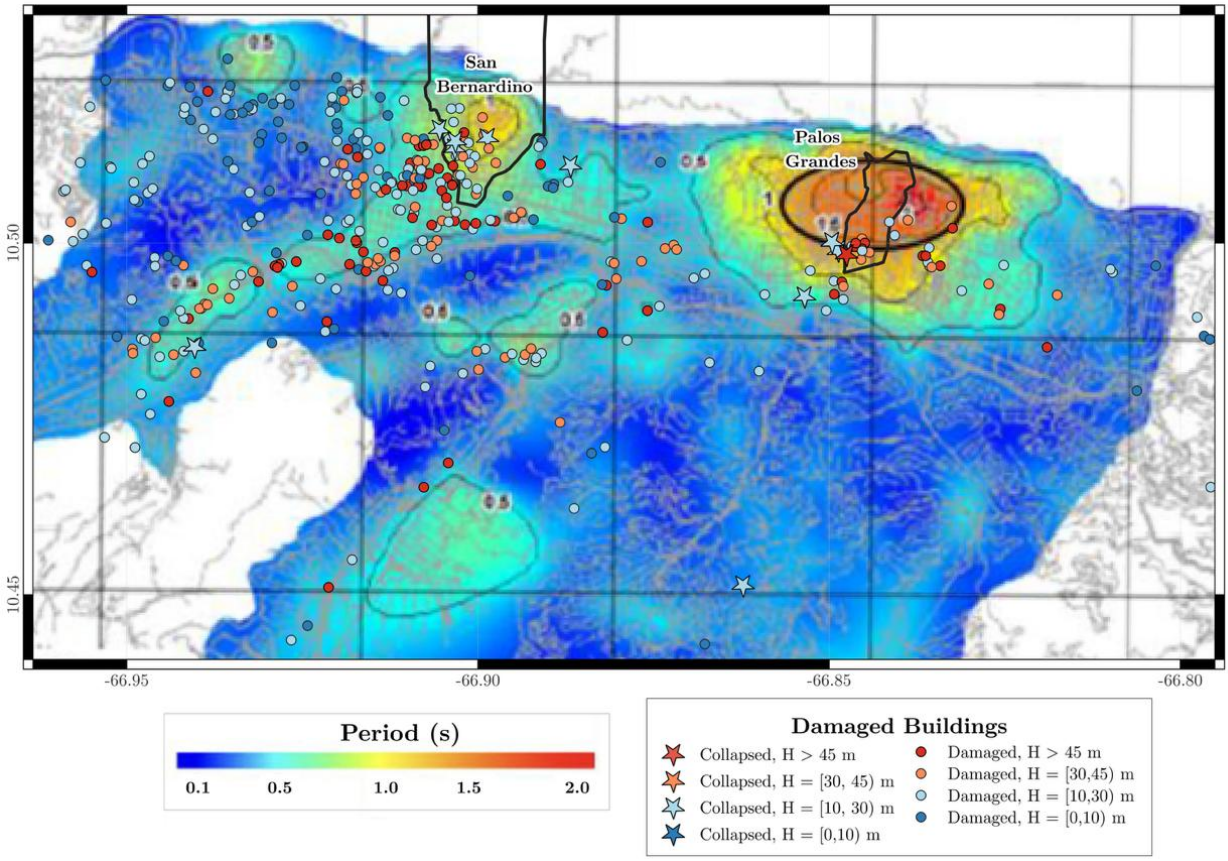


Figura 6-42. Mapa del período fundamental (Schmitz et al., 2020) y ubicación de los edificios dañados en Caracas. Se han detectado algunas dificultades al georreferenciar el mapa original del período fundamental, las cuales se están evaluando actualmente.

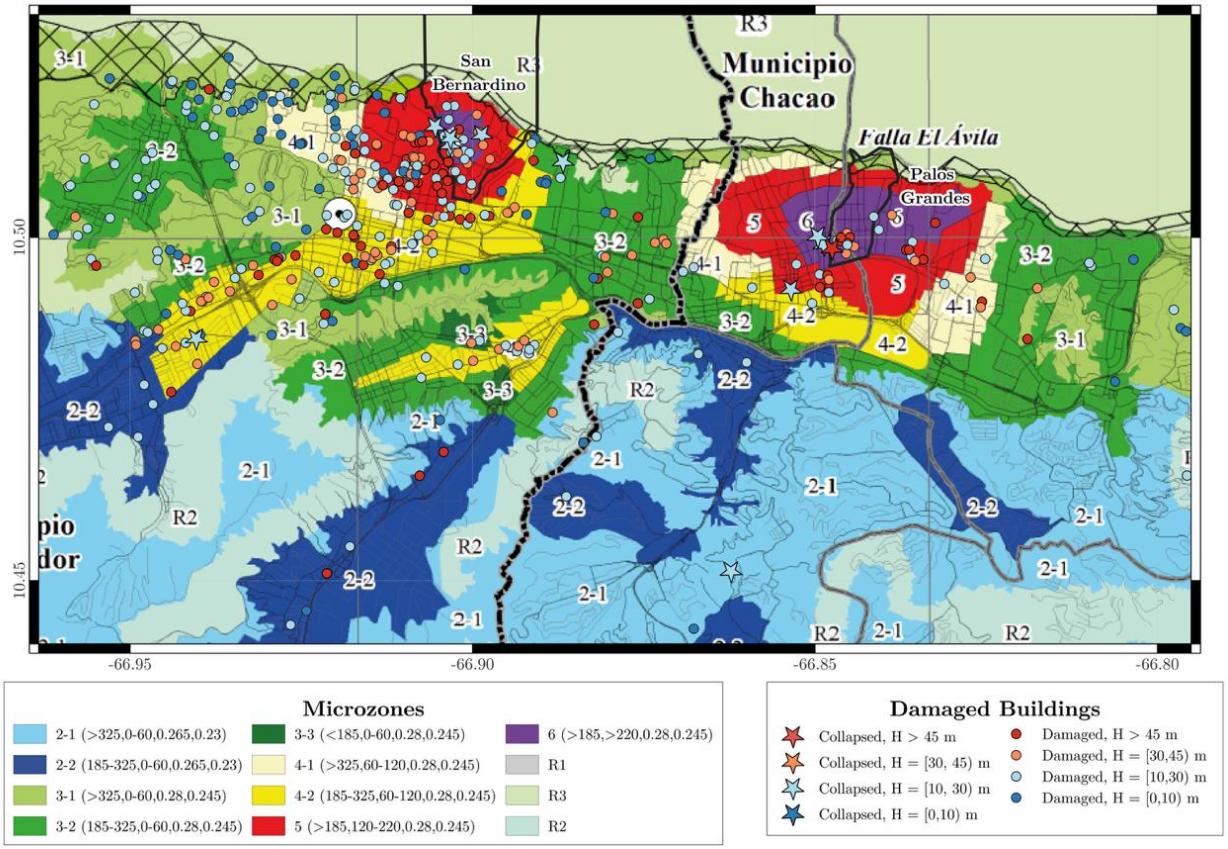


Figura 6-43. Microzonas y ubicación de edificios dañados en Caracas. Microzonas basadas en VS30, espesor de sedimento y PSA(g) para T = 0,01 y 1s en edificios estándar A0/A1 (FUNVISIS, s.f.).

6.7 Referencias

Abrahamson, N. A., Silva, W. J. y Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions [Resumen de la relación de movimiento del terreno ASK14 para regiones corticales activas]. Espectros sísmicos, 30(3), 1025-1055.

Ancheta T. D., Darragh R. B., Stewart J. P., Seyhan E., Silva W. J., Chiou B. S.-J., Wooddell K. E., Graves R. W., Kottke A. R., Boore D. M., Kishida T. y Donahue J. L., 2013. Base de datos PEER NGA-West2, Informe PEER n.° 2013/03, Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico, Universidad de California, Berkeley, CA, 134 págs.

Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., y Atkinson, G. M. (2014). NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes [Ecuaciones NGA-West2 para la predicción de PGA, PGV y PSA con 5 % de amortiguamiento para terremotos corticales superficiales]. Espectros sísmicos, 30(3), 1057-1085

Campbell, KW y Bozorgnia, Y. (2014). NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra [Modelo de movimiento del terreno NGA-West2 para las componentes horizontales promedio de PGA, PGV y espectros de respuesta de aceleración lineal con 5 % de amortiguamiento]. Espectros sísmicos, 30(3), 1087-1115

Chiou, B. S. J., y Youngs, R. R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra [Actualización del modelo NGA de Chiou y Youngs para la componente horizontal promedio del movimiento pico del terreno y espectros de respuesta]. Espectros sísmicos, 30(3), 1117-1153

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) (2023). Atlas Sismológico de Venezuela. http://www.funvisis.gob.ve/atlas_sis.php.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Proyecto de Microzonificación en Caracas y Barquisimeto. http://www.funvisis.gob.ve/old/proy_mic_sismicaccsbqto.php. Consultado en julio de 2026.

García, L., Rondón, F., Crasto, N. y Schmitz, M. (2023). Microzonas sísmicas preliminares del Estado La Guaira, en base a evaluación de Vs30, estudios gravimétricos y espesor de sedimentos. En II Congreso Venezolano de Geociencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Gil, R. (2021). Mapa de clasificación de microzonas sísmicas, con base en las velocidades VS30, los espesores de sedimentos y el potencial de licuación en la ciudad de Valencia, estado Carabobo. Tesis de pregrado dirigida por el Prof. Michael Schmitz, Universidad Central de Venezuela. https://saber.ucv.ve/jspui/handle/10872/21847.

Heath, D. C., Wald, D. J., Worden, C. B., Thompson, E. M., y Smoczyk, G. M. (2020). A global hybrid VS 30 map with a topographic slope–based default and regional map insets [Mapa global híbrido de VS30 con un valor por defecto basado en la pendiente topográfica e inserciones de mapas regionales]. Earthquake Spectra, 36(3), 1570-1584.

Kawase, H. (1996). The cause of the damage belt in Kobe:“The basin-edge effect,” constructive interference of the direct S-wave with the basin-induced diffracted/Rayleigh waves [La causa del cinturón de daños en Kobe: "El efecto de borde de cuenca", interferencia constructiva de la onda S directa con las ondas difractadas/Rayleigh inducidas por la cuenca]. Seismological Research Letters, 67(5), 25-34.

López, N. (2021). Generación de mapas V_{S30} y microzonas sísmicas, mediante el análisis multicanal de ondas superficiales interferométrico (IMASW) y ensayos geotécnicos en Maracay, Estado Aragua. Tesis de pregrado dirigida por el Prof. Michael Schmitz, Universidad Central de Venezuela. https://saber.ucv.ve/jspui/handle/10872/21846.

Martínez, C. (2026). Conjunto de datos de daños en edificios de crisisvenezuela.org. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.21154222.

Mijares, M., Schmitz, M., Sánchez-Rojas, J., & Rondón, F. (2021). Estudio del Parámetro V_{S30} Mediante el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales en la Ciudad de Valencia, Edo. Carabobo. Revista De La Facultad De Ingeniería UCV, 36(1), 69–81. Recuperado de https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/32608

Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V. y Vigano, D. (2014). OpenQuake engine: An open hazard (and risk) software for the global earthquake model

[Motor OpenQuake: un software abierto de amenaza (y riesgo) para el modelo global de terremotos]. Seismological Research Letters, 85(3), 692-702.

Quitoriano, V., & Wald, D. J. (2020). USGS "Did You Feel It?"—Science and lessons from 20 years of citizen science-based macroseismology ["¿Lo sentiste?" del USGS: Ciencia y lecciones de 20 años de macroseismología basada en ciencia ciudadana]. Frontiers in Earth Science, 8, 120.

Rekoske, J. M., Thompson, E. M., Moschetti, M. P., Hearne, M. G., Aagaard, B. T., & Parker, G. A. (2020). The 2019 Ridgecrest, California, earthquake sequence ground motions: Processed records and derived intensity metrics [Movimientos del terreno de la secuencia sísmica de Ridgecrest, California, de 2019: registros procesados y métricas de intensidad derivadas]. Seismological Research Letters, 91(4), 2010-2023.

Rojas, Carlos (2008). Determinación de los periodos fundamentales del suelo en la ciudad de Maracay, Edo. Aragua. Tesis de licenciatura dirigida por el profesor Michael Schmitz, Universidad Central de Venezuela. https://saber.ucv.ve/jspui/handle/10872/15837.

Romero, M, Cragno, A, Schmitz, M y Ambrosio, R. (2006). Caracterización de suelos con métodos geofísicos en La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, estado Vargas, Venezuela. Boletín Técnico, 44(1), 16-29. Recuperado en 16 de julio de 2026, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2006000100002&lng=es&tlng=es.

Schmitz, M., Hernández, J. J., Rocabado, V., Domínguez, J., Morales, C., Valleé, M., García, K., Sánchez-Rojas, J., Singer, A., Oropeza, J., Coronel D., G., & Flores, A. (2020). The Caracas, Venezuela, Seismic Microzoning Project: Methodology, results, and implementation for seismic risk reduction [Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, Venezuela: metodología, resultados e implementación para la reducción del riesgo sísmico]. Progress in Disaster Science, 5, 100060. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100060

Schmitz, M., Cano, V., López, O.A., Klarica, S., Pombo, A., Díaz, J.F., Heredia, J., Avendaño,

J., Morales, C., et al (2015). Estudios geofísicos en cuencas urbanas en Venezuela con fines de microzonificación sísmica. Boletín de Geología, 37 (1): 17-26.

http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349633831002

Seed, H. B., Whitman, R. V., Dezfulian, H., Dobry, R., & Idriss, I. M. (1972). Soil Conditions and Building Damage in 1967 Caracas Earthquake [Condiciones del suelo y daños en edificaciones en el terremoto de Caracas de 1967]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 98(8), 787–806. https://doi.org/10.1061/jsfeaq.0001768

Shahi, S. K., & Baker, J. W. (2014). An efficient algorithm to identify strong-velocity pulses in multicomponent ground motions [Un algoritmo eficiente para identificar impulsos de alta velocidad en movimientos del terreno multicomponente]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *104*(5), 2456-2466.

Sirko, W., Brempong, EA, Marcos, JTC, Annkah, A., Korme, A. Hassen, MA, Sapkota, K. Shekel, T., Diack, A., Nevo, S., Hickey, J. y Quinn. J.A. (2023) High-Resolution Building and Road Detection from Sentinel-2. arXiv:2310.11622.

Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., y Abrahamson, N. A. (1997). Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity [Modificación de relaciones empíricas de atenuación del movimiento fuerte del terreno para incluir los efectos de amplitud y duración de la directividad de la ruptura]. *Seismological research letters*, *68*(1), 199-222.

Thompson, E. M., Hearne, M., Aagaard, B. T., Rekoske, J. M., Worden, C. B., Moschetti, M. P., & Kottke, A. R. (2025). Automated, near real-time ground-motion processing at the US Geological Survey [Procesamiento automatizado del movimiento del terreno casi en tiempo real en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)]. Seismological Research Letters, 96(1), 538-553.

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) y Consejo Internacional de la Ciencia (ISC). (2025). UNDRR–ISC Hazard Information Profiles – 2025 Update: TL0201 Building Collapse [Perfiles de información sobre peligros UNDRR–ISC – Actualización de 2025: Colapso de edificaciones TL0201] Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres; Consejo Internacional de la Ciencia. https://www.undrr.org/terms/hips/TL0201.

Worden, C. B., Gerstenberger, M. C., Rhoades, D. A., y Wald, D. J. (2012). Probabilistic relationships between ground-motion parameters and modified Mercalli intensity in California [Relaciones probabilísticas entre parámetros del movimiento del terreno y la intensidad de Mercalli modificada en California]. Bulletin of the Seismological Society of America, 102(1), 204-221

Worden, C.B., Thompson, E. M., Hearne, M., & Wald, D.J. (2020). ShakeMap Manual Online: technical manual, user's guide, and software guide [Manual en línea de ShakeMap: Manual técnico, guía del usuario y guía del software]. U.S. Geological Survey. https://ghsc.code-pages.usgs.gov/esi/shakemap/.

Delavaud, E., P. Cupillard, G. Festa, and J.-P. Vilotte. 2006. "3D Spectral Element Method Simulations of the Seismic Response in the Caracas Basin." [Simulaciones mediante el método de elementos espectrales 3D de la respuesta sísmica en la cuenca de Caracas] Tercer Simposio Internacional sobre los Efectos de la Geología Superficial en el Movimiento Sísmico, 512–22.

Delavaud, E., J. Vilotte, G. Festa y P. Cupillard. 2007. "3D Spectral Element Method Simulations of the Seismic Response of Caracas (Venezuela) Basin." Resúmenes de la Reunión de Otoño de la AGU 2007: S14C–06. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007AGUFM.S14C..06D.

Duval, A.-M., S. Vidal, J.-P. Méneroud, et al. 2001. "Caracas, Venezuela, Site Effect Determination with Microtremors." [Determinación de efectos de sitio mediante microtremores en Caracas, Venezuela] Pure and Applied Geophysics 158 (12): 2513–23. https://doi.org/10.1007/PL00001183.

Festa, G., E. Delavaud, and J.-P. Vilotte. 2005. “Interaction Between Surface Waves and Absorbing Boundaries for Wave Propagation in Geological Basins: 2D Numerical Simulations.” [Interacción entre ondas superficiales y fronteras absorbentes para la propagación de ondas en cuencas geológicas: simulaciones numéricas 2D] Geophysical Research Letters 32 (20): L20306. https://doi.org/10.1029/2005GL024091.

Genatios, Carlos, Marianela Lafuente, Alfredo Cilento, y José Grases. 2017. El terremoto de Caracas de 1967: 50 años después. Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat - CITECI.

Hernández, J. J., M. Schmitz, E. Delavaud, H. Cadet y J. Domínguez. 2011. “Espectros de Respuesta sísmica En Microzonas de Caracas Incluyendo Efectos de Sitio 1D, 2D y 3D.” Revista de La Facultad de Ingeniería 26 (2): 49–66.

Papageorgiou, A. S. y J. Kim. 1991a. “Study of the Propagation and Amplification of Seismic Waves in Caracas Valley with Reference to the 29 July 1967 Earthquake: SH Waves.” [Estudio de la propagación y amplificación de ondas sísmicas en el valle de Caracas con referencia al terremoto del 29 de julio de 1967: ondas SH]. Bulletin of the Seismological Society of America 81 (6): 2214–33. https://doi.org/10.1785/BSSA0810062214.

Papageorgiou, A. S. y J. Kim. 1991b. “Study of the Propagation and Amplification of Seismic Waves in Caracas Valley with Reference to the July 29, 1967 Earthquake Response.” [«Estudio de la propagación y amplificación de ondas sísmicas en el valle de Caracas con referencia a la respuesta al terremoto del 29 de julio de 1967] En Computational Stochastic Mechanics, editado por P. D. Spanos y C. A. Brebbia. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3692-1_54.

Papageorgiou, A. S. y J. Kim. 1993. “Propagation and Amplification of Seismic Waves in 2-d Valleys Excited by Obliquely Incident p- and SV-Waves.” [Propagación y amplificación de ondas sísmicas en vales bidimensionales excitados por ondas P y SV con incidencia oblicua]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics 22 (2): 167–82. https://doi.org/10.1002/eqe.4290220206.

Semblat, J. F., A. M. Duval y P. Dangla. 2002. “Seismic Site Effects in a Deep Alluvial Basin: Numerical Analysis by the Boundary Element Method.” [Efectos de sitio sísmicos en una cuenca aluvial profunda: análisis numérico mediante el método de los elementos de frontera]. Computers and Geotechnics 29 (7): 573–85. https://doi.org/10.1016/S0266-352X(02)00017-4.

de la Torre, C. A., McGann, C. R., Bradley, B. A. y Hill, M. (2026). Quantifying Multidimensional Effects in Linear Site Response Using 1D and 2D Simulations of Sedimentary Basins in Wellington, New Zealand [Cuantificación de efectos multidimensionales en la respuesta de sitio lineal mediante simulaciones 1D y 2D de cuencas sedimentarias en Wellington, Nueva Zelanda]. Earthquake Spectra, 42(3), e70082.

7. EVIDENCIA REMOTA DE DEFORMACIÓN DEL TERRENO

Tabla 7-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Patricia Varela	Geólogo sénior, Geosyntec Consultants, Inc.

7.1 Resumen

Tras los terremotos de junio de 2026, se han registrado deformaciones del terreno provocadas por el sismo en varias regiones del norte de Venezuela, incluyendo grietas, licuación, deslizamientos de tierra y daños a la infraestructura. Sin embargo, la mayor concentración de impactos reportados se produjo dentro del Área Metropolitana de Caracas y el estado vecino de La Guaira (anteriormente Vargas), donde la densidad de población, la exposición de la infraestructura y la gravedad de los efectos observados en el suelo fueron mayores. En consecuencia, la labor de reconocimiento remoto se centró en estas áreas, definiendo un área de interés que abarcaba las zonas más afectadas de Caracas y La Guaira. Este enfoque específico permitió realizar una revisión sistemática de las imágenes aéreas y satelitales posteriores al terremoto para identificar, cartografiar y clasificar los posibles rasgos de deformaciones del terreno inducidas por el sismo y respaldar las actividades posteriores de verificación sobre el terreno.

Se realizó una evaluación geomorfológica remota utilizando imágenes aéreas previas y posteriores al terremoto para identificar las características de deformación del terreno atribuibles a los terremotos de junio de 2026. El análisis consistió en comparaciones visuales sistemáticas entre imágenes previas y posteriores al evento para identificar cambios geomorfológicos que estaban ausentes en las condiciones previas al terremoto.

7.2 Inventario de deformaciones del terreno

Las características identificadas durante la revisión se recopilaron en un inventario geoespacial y se clasificaron según los criterios que se describen a continuación. Este conjunto de datos está disponible en DesignSafe.

- Ruptura del suelo
  - Fractura: Grietas en el suelo que no presentan desplazamiento visible ni evidencia de procesos relacionados con la licuación.
  - Falla: Grietas en el terreno que muestran un desplazamiento vertical u horizontal observable, indicativo de una ruptura de falla superficial.
- Licuación
  - Volcanes de arena: depósitos de arena circulares o irregulares, montículos o eyecciones comúnmente asociados con la liberación de sedimentos licuados, a menudo acompañados de evidencia de filtración.

- Grieta del terreno: Grietas del terreno asociadas con indicadores de licuación, como filtraciones, eyecciones o emanaciones de arena, sin evidencia visible de desplazamiento lateral del terreno.
- Asentamiento: Áreas que presentan asentamiento diferencial o descenso localizado de la superficie del terreno atribuible a la pérdida de resistencia del suelo inducida por la licuación.

- Deslizamientos de tierra
  - Deslizamientos traslacionales: movimientos de masas poco profundos que se identifican comúnmente por áreas alargadas alteradas y afloramientos de suelo fresco en pendientes que anteriormente estaban cubiertas de vegetación. Cuando se produjo un movimiento dentro de un deslizamiento de tierra preexistente, el inventario registra la geoforma como una reactivación.
  - Deslizamientos rotacionales: Deslizamientos que presentan características propias, como un escarpe de cabecera, un abultamiento al pie del deslizamiento, grietas de tensión, vegetación desplazada u otras evidencias de movimientos más profundos que se distinguen de los deslizamientos traslacionales superficiales.
  - Desprendimiento de rocas: Desprendimiento de material rocoso, que se identifica por cicatrices recientes o roca expuesta en pendientes pronunciadas o acantilados, acumulaciones de fragmentos de roca en la base de la pendiente y la consiguiente alteración de la vegetación.
  - Desprendimiento lateral del terreno inducido por la licuación, caracterizado por grietas paralelas en el terreno y rasgos de extensión.

La clasificación de la deformación del terreno asignada a cada elemento cartografiado se basó principalmente en la interpretación de imágenes posteriores al terremoto y, cuando fue posible, se corroboró mediante observaciones recopiladas por el equipo de reconocimiento de campo. Los conjuntos de datos de imágenes aéreas utilizados en esta evaluación procedían de Vantor[9], Planet[10] y Sentinel[11], y las superficies fotogramétricas 3D obtenidas con drones de SIGIS Venezuela[12] y Drone Pixel. En la Tabla 7-2 se resumen los detalles de los conjuntos de datos seleccionados, mientras que en los capítulos siguientes se ofrecen análisis más detallados de las evaluaciones realizadas para cada riesgo geológico (por ejemplo, ruptura de fallas superficiales, licuación, deslizamientos de tierra).

[9] Recuperado de https://radiantearth.github.io/stac-browser/#/external/vantor-opendata.s3.amazonaws.com/events/Venezuela-Earthquake-Jun-2026/collection.json
[10] Recuperado de https://www.planet.com/
[11] Obtenido de https://eos.com/blog/historical-satellite-images/
[12] Recuperado de https://www.sigis.com.ve/blog/fotogrametria-con-drones-diagnostico-y-prevencion-estructural-post-sismo

Tabla 7-2. Imágenes aéreas posteriores al terremoto

Imagen	Fecha de la imagen	Fecha de descarga	Resolución	Cobertura de nubes
B040001100075510 - Vantor WV03	26/6/2026	8/7/2026	0.3 m	16%
B140001100B5C710 - Vantor LG05	29/6/2026	8/7/2026		
B140001100B5C810 - Vantor LG05	29/6/2026	8/7/2026		
B15000110186C610 - Vantor LG05	27/6/2026	8/7/2026		
B1600011017A8610 - Vantor LG06	26/6/2026	8/7/2026		
123541_ssc5_u0001_visual - Planet	26/6/2026	2/7/2026	0.5 m	2%
150535_17_3010_visual - Planet	26/6/2026	2/7/2026		
112621_ssc2_u0001_visual - Planet	27/6/2026	2/7/2026		
112621_ssc2_u0002_visual - Planet	27/6/2026	2/7/2026		
145824_88_300d_visual - Planet	27/6/2026	2/7/2026		
Sentinel-2 L2A	7/7/2026	20/7/2026	10 m	24%
Soluciones Integrales GIS - SIGIS Venezuela, (dron)	25/06/2026 – 17/07/2026	26/7/2026	<0.3 m	0%
Drone Pixel	28/06/2026		<0.3 m	0%

La cobertura espacial de las imágenes utilizadas para desarrollar este inventario de deformaciones del terreno se muestra en la Figura 7-1. La cobertura nubosa combinada (intersección) para el área de interés es del 13%.

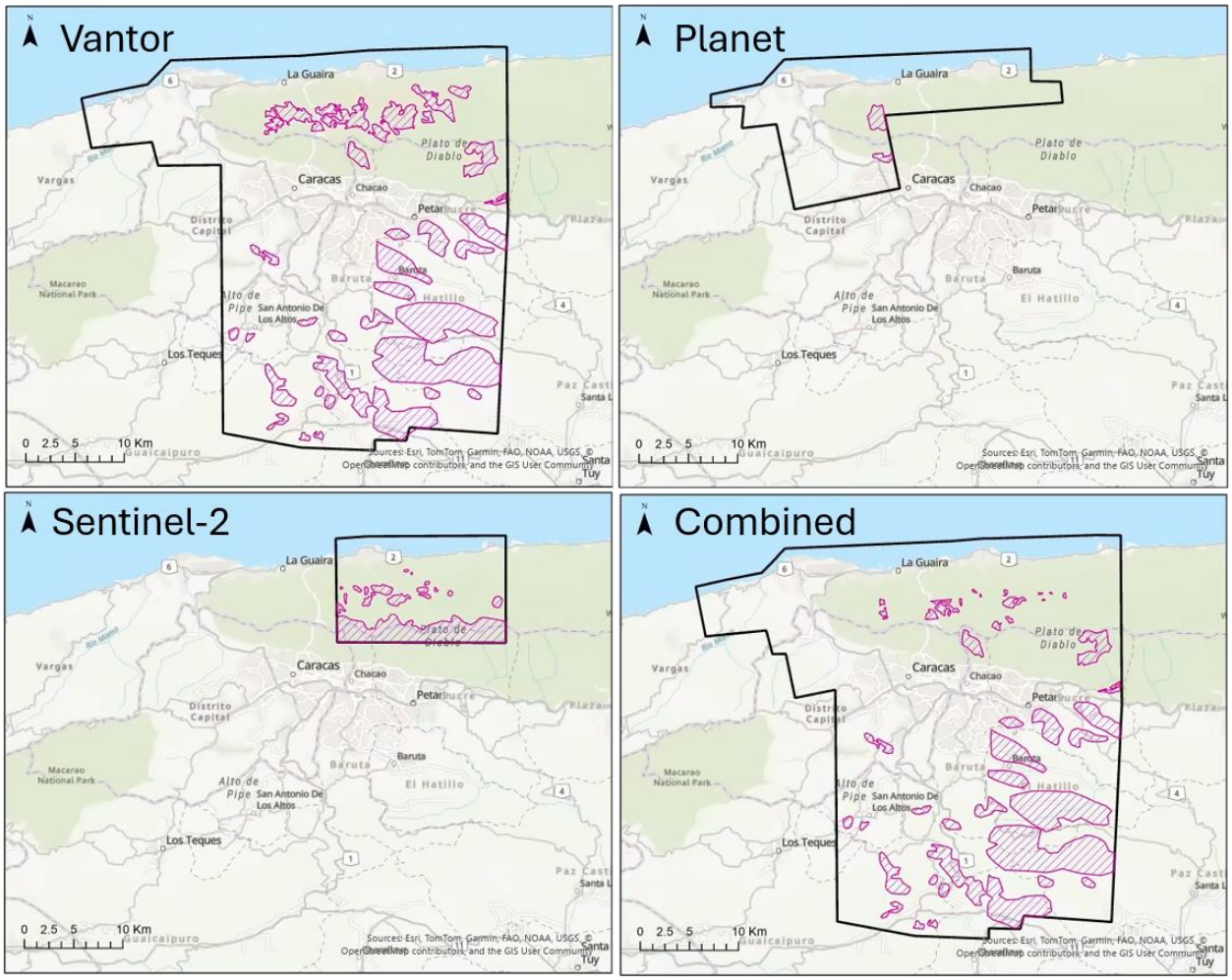


Figura 7-1. Imágenes aéreas posteriores al terremoto. Las zonas punteadas representan la nubosidad.

Además del tipo de deformación, a cada elemento cartografiado se le asignó un índice de confianza para documentar el nivel de certeza del analista con respecto a la interpretación. Los índices de confianza reflejan la calidad y la fecha de las imágenes disponibles, la singularidad de los indicadores geomorfológicos, la certeza de que elemento esté relacionado con los terremotos y la capacidad del analista para delimitar el perímetro de dicho elemento. Entre las fuentes de incertidumbre pueden figurar la nubosidad, la resolución de la imagen, los artefactos de ortorrectificación, las distorsiones topográficas en terrenos escarpados y las limitaciones en la disponibilidad de imágenes recientes anteriores al terremoto. La clasificación de confianza proporciona una medida cualitativa de la incertidumbre y ayuda a los usuarios del inventario a interpretar la confiabilidad de las observaciones individuales.

Se utilizaron las siguientes categorías de confianza:

- **Probable:** Un rasgo que presenta características que son altamente consistentes con deslizamientos de tierra, licuación o deformación por ruptura del suelo. El analista tiene un alto grado de confianza en la identificación de la característica, su asociación con el

terremoto y la delimitación de sus límites. Estas características son claramente distinguibles en las imágenes, se ven mínimamente afectadas por artefactos o distorsiones en la imagen y tienen pocas explicaciones alternativas plausibles.

- **Posible:** Un rasgo que muestra características consistentes con la deformación del terreno inducida por un terremoto y que se considera que es más probable que esté relacionado con el terremoto que no. Sin embargo, uno o más factores, como la nubosidad, la calidad de la imagen o la incertidumbre con respecto al delineamiento de los elementos, reducen la confianza del analista en comparación con una clasificación de "*Probable*".
- **Cuestionable**: una característica cuya interpretación es incierta porque la expresión geomorfológica observada puede tener explicaciones alternativas no relacionadas con el terremoto, porque los artefactos de la imagen o la nubosidad impiden una interpretación fiable, o porque las imágenes previas al terremoto más recientes disponibles son anteriores al 2026 y no permiten definir un corto rango de tiempo para asociar el elemento con los terremotos. Las características clasificadas de esta manera pueden representar deformaciones provocadas por terremotos; sin embargo, las imágenes disponibles son insuficientes para establecer con certeza su origen, mecanismo de deformación o fecha de ocurrencia.

Las interpretaciones derivadas de la evaluación de imágenes remotas están sujetas a varias limitaciones:

- La evaluación depende de la calidad, la resolución espacial, la geometría de visualización y la nubosidad de las imágenes disponibles. Por consiguiente, el inventario no debe considerarse una representación completa de toda la deformación del terreno provocada por el terremoto, y es posible que algunas características no se hayan detectado (falsos negativos).
- Los errores de ortorrectificación y las distorsiones de imagen, comunes en terrenos escarpados, pueden afectar la precisión posicional y la interpretación de los elementos cartografiados.
- El inventario se elaboró principalmente utilizando las imágenes de mayor resolución disponibles. En las zonas donde la nubosidad ocultaba la superficie del suelo, se utilizaron imágenes de menor resolución para complementar la evaluación, lo que pudo haber reducido la capacidad de identificar rasgos de deformaciones a menor escala.
- Debido a que no se disponía de imágenes obtenidas inmediatamente antes del terremoto para todas las ubicaciones, algunas características cartografiadas pueden haber existido antes del evento y no ser directamente atribuibles a la deformación del terreno relacionada con el terremoto. En consecuencia, el inventario puede contener falsos positivos en los que características geomorfológicas preexistentes, grietas en el suelo, deslizamientos de tierra u otras perturbaciones se interpretaron como características inducidas por terremotos basándose en las imágenes disponibles.

- Para tener en cuenta las diferentes fuentes de incertidumbre, las características identificadas en áreas donde las imágenes previas al terremoto más recientes eran anteriores a 2026 se designaron como cuestionables, lo que indica que no se podía determinar con certeza el momento de la formación de dichas geoformas y que no se podía confirmar un origen relacionado con el terremoto únicamente a partir de las imágenes disponibles o la expresión geomorfológica.
- Las clasificaciones de los rasgos se basaron en la interpretación visual remota y, salvo en los casos en que se dispuso de verificación sobre el terreno, siguen siendo de carácter interpretativo. A medida que se disponga de observaciones de campo adicionales o imágenes de mayor resolución, las características y clasificaciones cartografiadas podrán revisarse.
- Este inventario representa una interpretación preliminar de los impactos geomorfológicos inducidos por el terremoto, basada en los conjuntos de datos de imágenes disponibles en el momento de la evaluación.

La Figura 7-2 resalta una clara separación geomorfológica entre los procesos de falla del terreno cartografiados. Los deslizamientos de tierra se concentran a lo largo de la escarpada ladera de la montaña, por encima de las zonas urbanizadas, mientras que los elementos relacionados con la licuación se distribuyen predominantemente a lo largo de los conos de abanico, las crestas de playa, los rellenos costeros y los depósitos de desembocaduras de ríos a lo largo de la llanura costera. Las características de ruptura del terreno se ubican principalmente a lo largo o inmediatamente adyacentes a rupturas de fallas conocidas o inferidas, identificadas a partir de conjuntos de datos geológicos y geodésicos. La limitada superposición espacial entre estas clases de características es coherente con sus controles geomorfológicos y tectónicos previstos, lo que proporciona una línea de evidencia indirecta que respalda las interpretaciones de la teledetección.

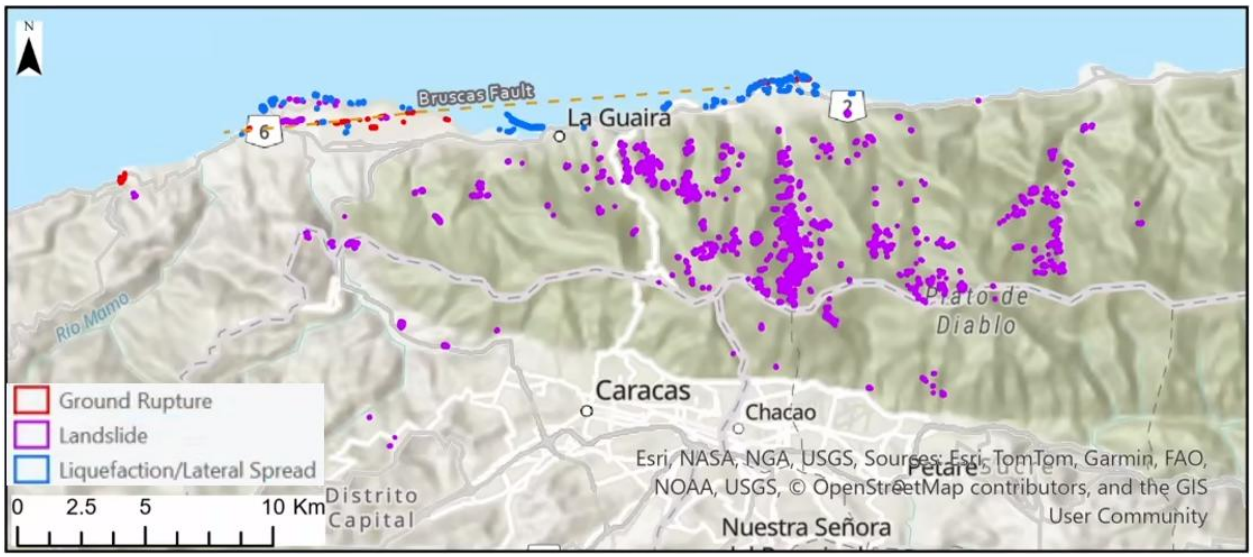


Figura 7-2. Partición geomorfológica de la deformación del terreno cartografiada a lo largo del corredor de La Guaira. Falla de Bruscas digitalizada a partir de Weisbord (1957).

Los resultados de estas observaciones, otras fuentes de datos disponibles públicamente y los hallazgos de los equipos de campo de GEER y los colaboradores locales se analizan con más detalle en los tres capítulos siguientes:

- Capítulo 8, Ruptura de la superficie del terreno a lo largo de la falla
- Capítulo 9, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
- Capítulo 10, Estabilidad sísmica de taludes y peligros compuestos

7.3 Referencias

Weisbord, N.E., 1957, Notes on the Cabo Blanco Area, Venezuela [Notas sobre el área de Cabo Blanco, Venezuela]. Bulletins of American Paleontology, v. 38, no. 165, p. 1–51.

8. RUPTURA DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO A LO LARGO DE LA FALLA

Tabla 8-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Patricia Varela	Geólogo sénior, Geosyntec Consultants, Inc.
Juan F. Perri	Ingeniero principal en Exponent, EE. UU.
Francisco Pinto	Profesor asistente, Universidad de Chile
William Zakka	Investigador de posgrado en la Universidad de California, Berkeley, EE. UU.

8.1 Desplazamiento regional

La ruptura de la superficie terrestre asociada a los terremotos de Venezuela de 2026 se evaluó utilizando productos de desplazamiento regionales y locales derivados de análisis de teledetección antes y después del 24 de junio de 2026. Los productos regionales de desplazamiento en línea de visión publicados por la Agencia Espacial Europea (ESA) y la NASA muestran un patrón consistente de movimiento dextral relativo de la Placa del Caribe con respecto a la Placa Sudamericana. Estos se muestran en las Figura 8-1 y Figura 8-2, donde las áreas indicadas en rojo muestran un desplazamiento creciente alejándose del satélite o hacia el este, mientras que las áreas mostradas en azul indican un desplazamiento creciente hacia el satélite o hacia el oeste. El patrón de desplazamiento es ampliamente consistente con el movimiento lateral dextral a lo largo de las zonas de falla de Boconó y San Sebastián, como también se representa en el modelo de falla finita del USGS y los contornos de aceleración máxima del suelo (PGA) que se muestran en la Figura 8-3.

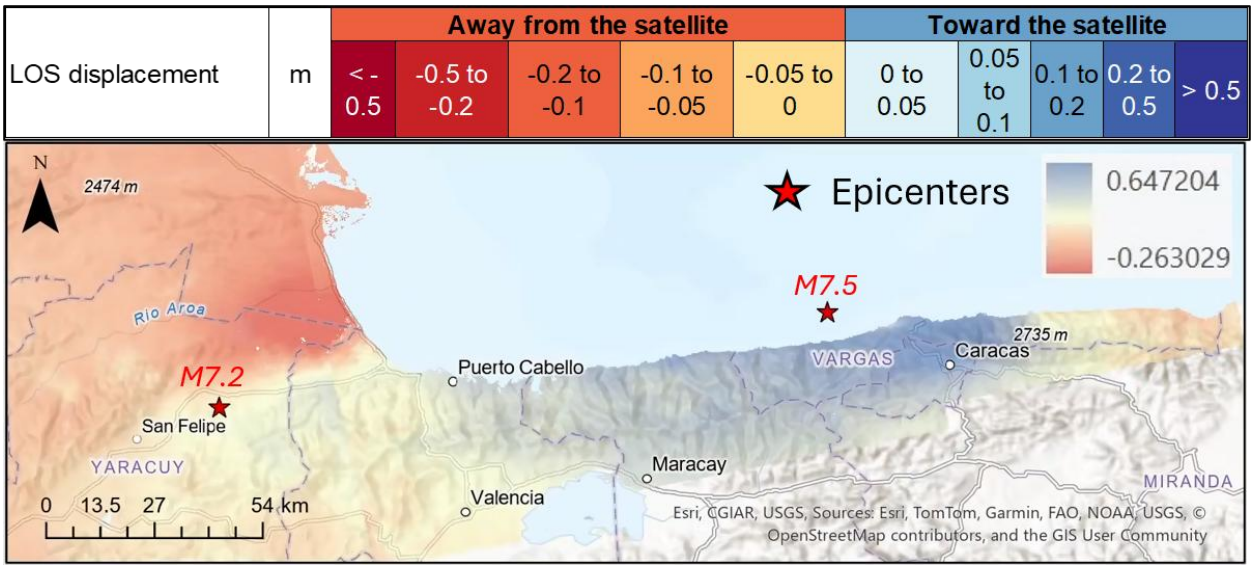


Figura 8-1. ESA – Desplazamiento de la línea de visión (LOS) de Copernicus. Fuente: https://mapping.emergency.copernicus.eu/activations/EMSR884/download

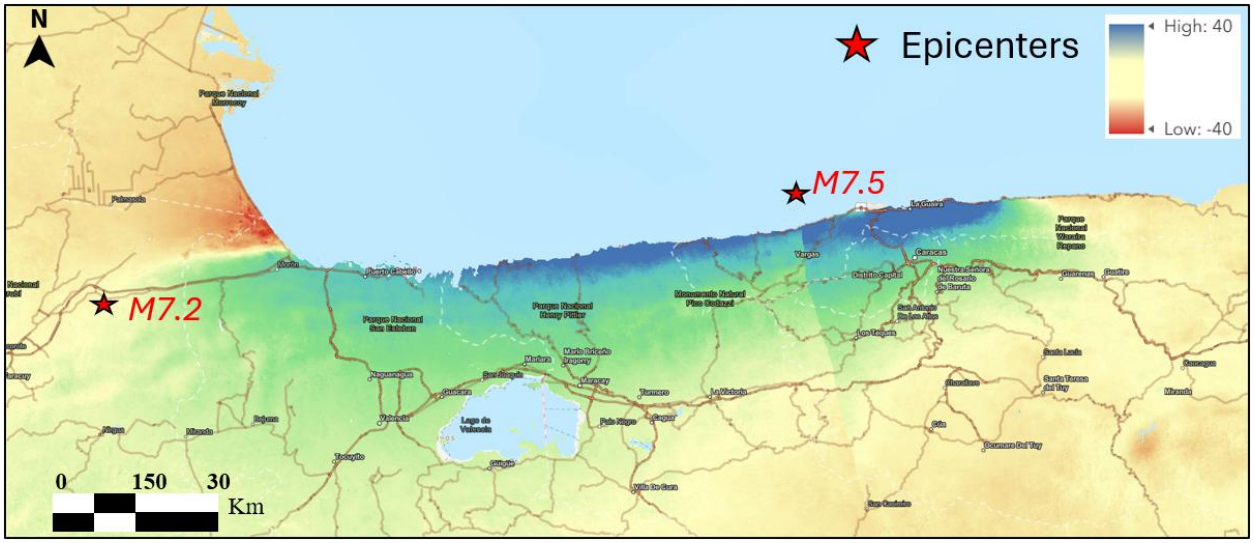


Figura 8-2. Mapa de desplazamiento de superficie de la NASA (NISAR) en línea de visión (LOS): trayectorias ascendentes entre el 13 de junio de 2026 y el 25 de junio de 2026 (A162) y entre el 19 de junio de 2026 y el 30 de junio de 2026 (A61). Desplazamiento de la LOS en cm. Fuente: https://gis.earthdata.nasa.gov/portal/home/item.html?id=9244f7b07fa64d45ae7cb66c34d1696a

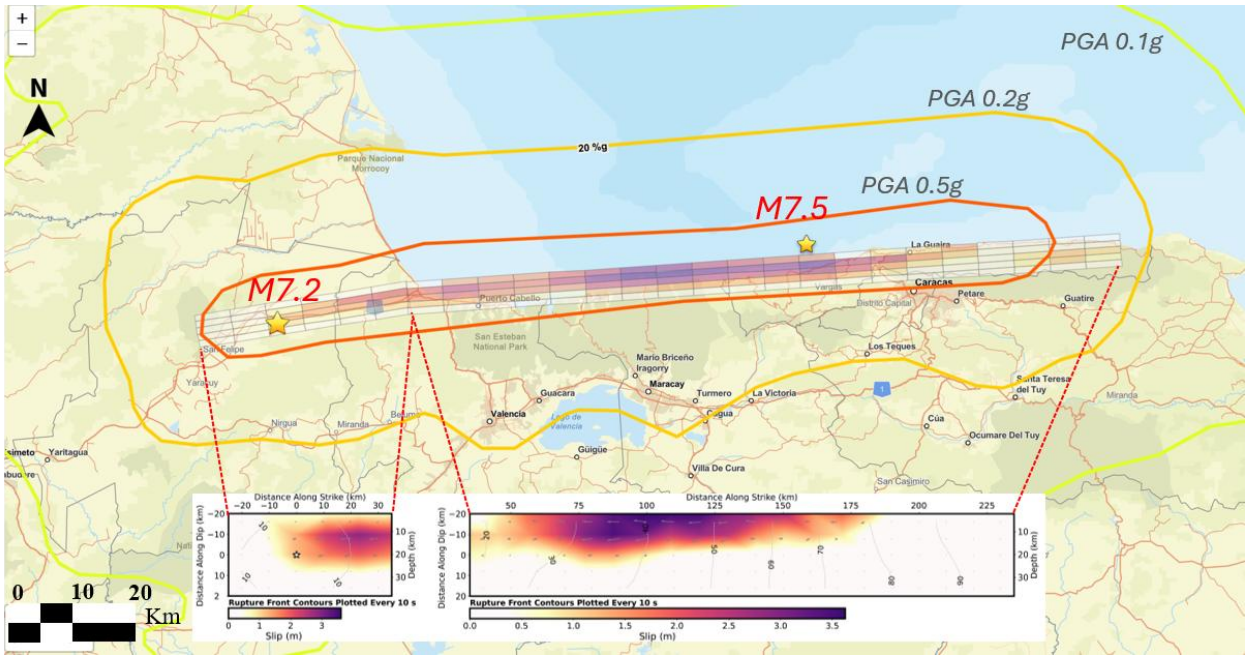


Figura 8-3. Curvas de nivel de PGA del USGS y modelo de falla finita. Fuente: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/finite-fault

Un artículo geodésico de Suárez Acosta y Arenas Bermúdez (SIGGMA 2026) presenta una caracterización preliminar del desplazamiento de la superficie asociado a los terremotos, utilizando pares interferométricos de Sentinel-1 y observaciones de la estación GNSS CCS1 ubicada en la Universidad Central de Venezuela, en Caracas. El estudio también reporta una deformación cosísmica predominantemente hacia el oeste, incluido un movimiento regional hacia el oeste de aproximadamente 48,2 cm, y señala que los resultados son preliminares y requieren una mayor validación.

La solución de falla finita del USGS para el sismo principal de magnitud 7.5 indica una ruptura del orden de 230 km por 40 km que se propaga hacia el este a lo largo del sistema de fallas de San Sebastián hacia La Guaira. Por lo tanto, los segmentos de ruptura orientales pasan cerca del corredor costero de La Guaira, y la distancia epicentral sobreestima sustancialmente una corta distancia entre la fuente y el sitio. El corredor de La Guaira debe ser tratado como un sitio cercano a la fuente de una gran ruptura de deslizamiento horizontal, con la posibilidad de directividad y movimientos tipo pulso, en vez de un sitio de campo lejano. La larga duración efectiva del doblete —el segundo evento llega 30 s después del primero, antes de que el primero se haya desvanecido— y la amplificación dentro de la cuenca sedimentaria de 180 a 450 m de profundidad, con períodos de sitio de 0.9 a 1.8 s, contribuyen a las características de la demanda cercana a la fuente. Separar estas contribuciones es una de las preguntas de investigación que este evento está bien posicionado para responder (Sección 9.8), y requiere la recuperación de registros instrumentales o estimaciones defendibles de la demanda macrosísmica para el corredor, que no estaban disponibles en el momento de redactar este documento.

8.2 Evidencia local de ruptura de la superficie del suelo

El desplazamiento cosísmico reportado por SIGGMA (2026) en la estación GNSS CCS1 en Caracas es de 46,3 cm hacia el oeste, 0,7 cm hacia el sur y 3 cm hacia arriba. También realizaron evaluaciones de desplazamiento cosísmico horizontal y vertical en diferentes puntos de interés, centrándose en carreteras, puentes, puertos, entre otros, y sus resultados se muestran en la Figura 8-4.

La ruptura superficial que se muestra en la Figura 8-11 fue verificada sobre el terreno por miembros del equipo de campo de GEER que visitaron el aeropuerto de Maiquetía. Nuestros equipos no han detectado otras rupturas superficiales en el terreno. Por lo tanto, en este capítulo se incluyen algunas características en las que expresamos nuestra incertidumbre con respecto a su asociación con la ruptura de la superficie.

POI	Location	Latitude (°)	Longitude (°)	dE (m)	dN (m)	dHz (m)	dU (m)
1	La Guaira	10.597206	-66.949455	-0.522	-0.010	0.522	0.048
2	Viaducto	10.552712	-67.004989	-0.521	-0.009	0.521	0.041
3	Boqueron I	10.562095	-67.005548	-0.519	-0.009	0.519	0.041
4	Autopista CCS-LGUA	10.530009	-66.984593	-0.511	-0.010	0.511	0.048
5	Boqueron II	10.577641	-66.997334	-0.509	-0.009	0.509	0.039
6	Maiquetia	10.609431	-66.989716	-0.496	-0.010	0.496	0.047
7	Hotel-Humboldt	10.542022	-66.875457	-0.493	-0.010	0.493	0.049
8	Catia La Mar	10.585405	-67.080461	-0.488	-0.007	0.488	0.033
9	Caraballeda	10.619381	-66.850572	-0.487	-0.008	0.487	0.037
10	Distribuidor CCS_LGUA	10.491893	-66.932974	-0.485	-0.009	0.485	0.045
11	Colonia Tovar	10.409658	-67.288541	-0.479	-0.006	0.479	0.024
12	Naiguata	10.623674	-66.743285	-0.471	-0.007	0.471	0.032
13	**GNSS_INTU**	10.479144	-66.858518	-0.467	-0.009	0.467	0.042
14	Caracas Este	10.497449	-66.787497	-0.466	-0.008	0.466	0.037
15	Puerto Cabello	10.477730	-68.073222	-0.466	-0.005	0.466	0.023
16	Moron	10.490109	-68.179928	-0.458	-0.005	0.458	0.018
17	Guarenas	10.488645	-66.631601	-0.452	-0.008	0.453	0.039
18	Maracay	10.249560	-67.649737	-0.452	-0.008	0.452	0.038
19	Los Teques	10.355142	-67.038055	-0.451	-0.008	0.451	0.039
20	Valencia	10.175046	-67.980014	-0.432	-0.006	0.432	0.029

Figura 8-4. Desplazamiento en puntos de interés modelado por SIGGMA. Fuente: Preliminary GNSS+DInSAR Evidence of Coseismic Deformation in Venezuela Associated with the June 24, 2026 Earthquakes - SIGGMA

Los campos de desplazamiento adicionales publicados a través del catálogo ScienceBase del USGS proporcionan modelos más detallados para las zonas costeras donde se concentraron los daños. Estos productos, derivados de la correlación de subpíxeles de imágenes ópticas de Vantor, descomponen el desplazamiento de la superficie en componentes norte-sur y este-oeste para áreas

seleccionadas a lo largo de la costa. Los valores positivos corresponden a un desplazamiento hacia el norte y hacia el este, mientras que los valores negativos corresponden a un desplazamiento hacia el sur y hacia el oeste en las Figura 8-5 a Figura 8-8. En todas las áreas evaluadas, la componente este-oeste parece más pronunciada que la componente norte-sur, lo cual concuerda con el desplazamiento predominantemente lateral que se espera del movimiento de falla de deslizamiento horizontal de este sistema de fallas. Este patrón es especialmente evidente en Catia La Mar, el aeropuerto de Maiquetía y Caraballeda. El marcado contraste de la transición entre el desplazamiento este-oeste azul y rojo que se observa en los conjuntos de datos de Catia La Mar y del aeropuerto de Maiquetía indica que es probable que la falla sea relativamente superficial en esta área.

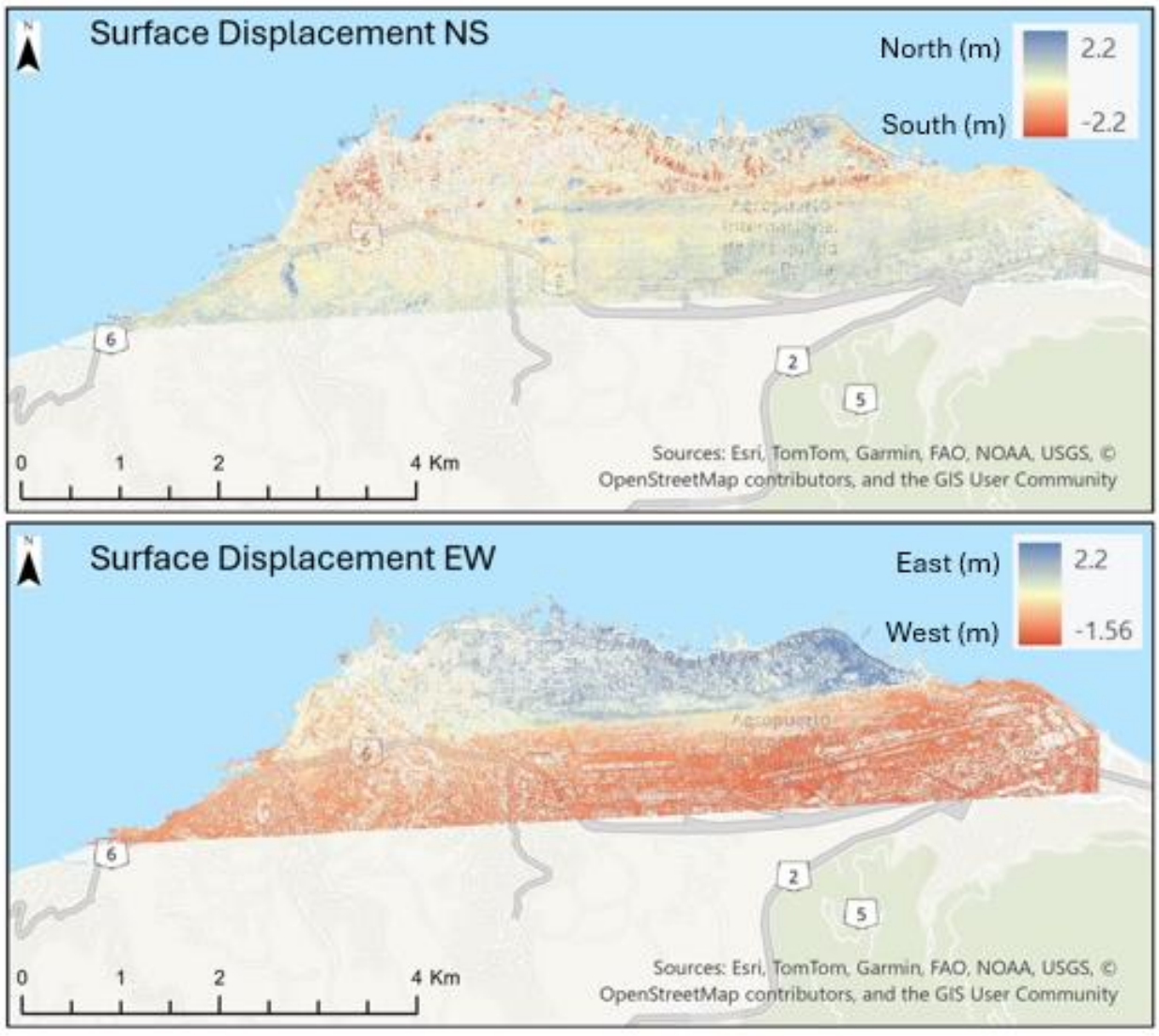


Figura 8-5. Campos de desplazamiento superficial de Catia La Mar, descompuestos en componentes norte-sur (azul y rojo, respectivamente) y este-oeste (azul y rojo, respectivamente), comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889

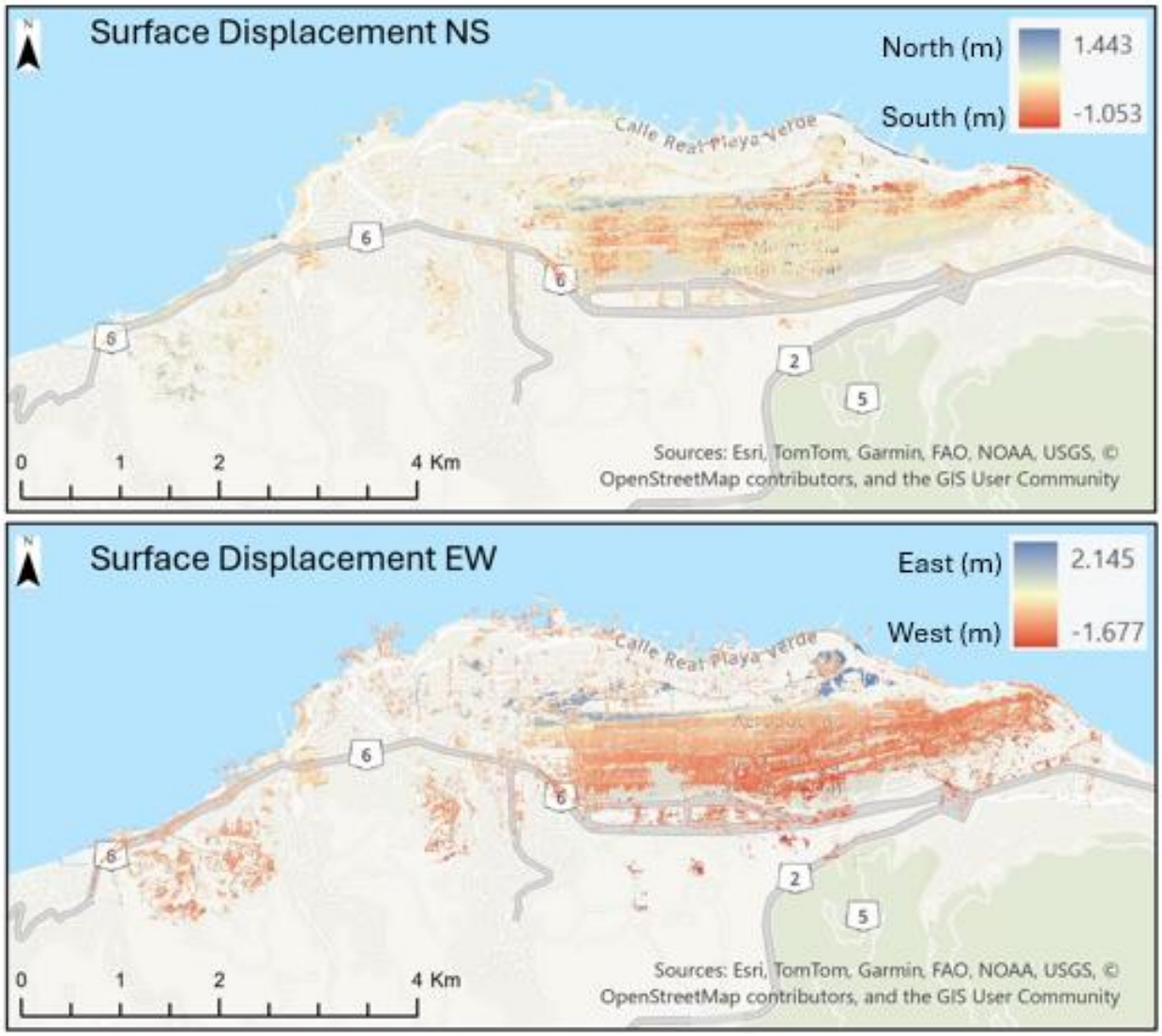


Figura 8 -6. Campos de desplazamiento de la superficie del aeropuerto de Maiquetía, descompuestos en componentes norte-sur y este-oeste, comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889

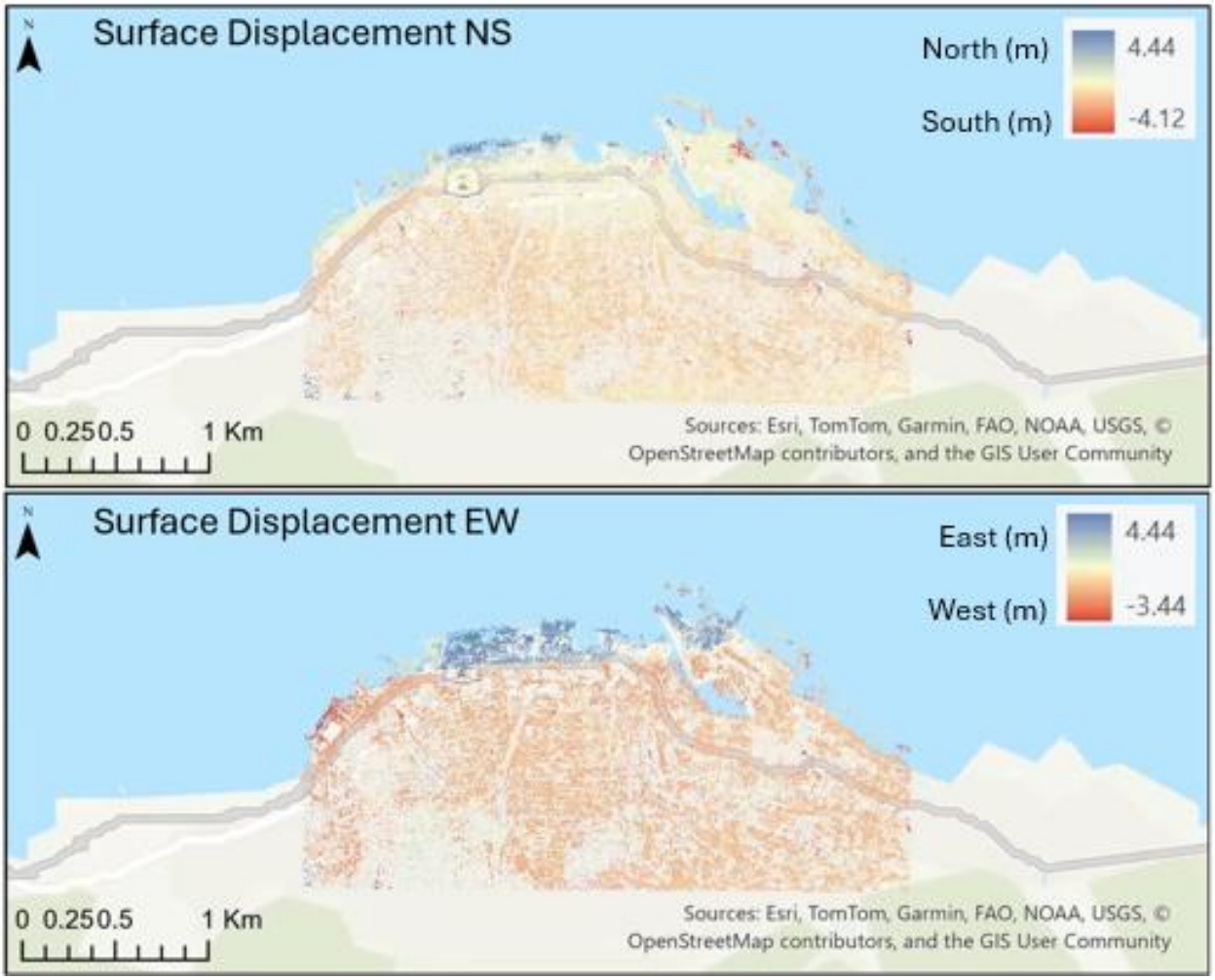


Figura 8-7. Campos de desplazamiento superficial de Caraballeda, descompuestos en componentes norte-sur y este-oeste, comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889

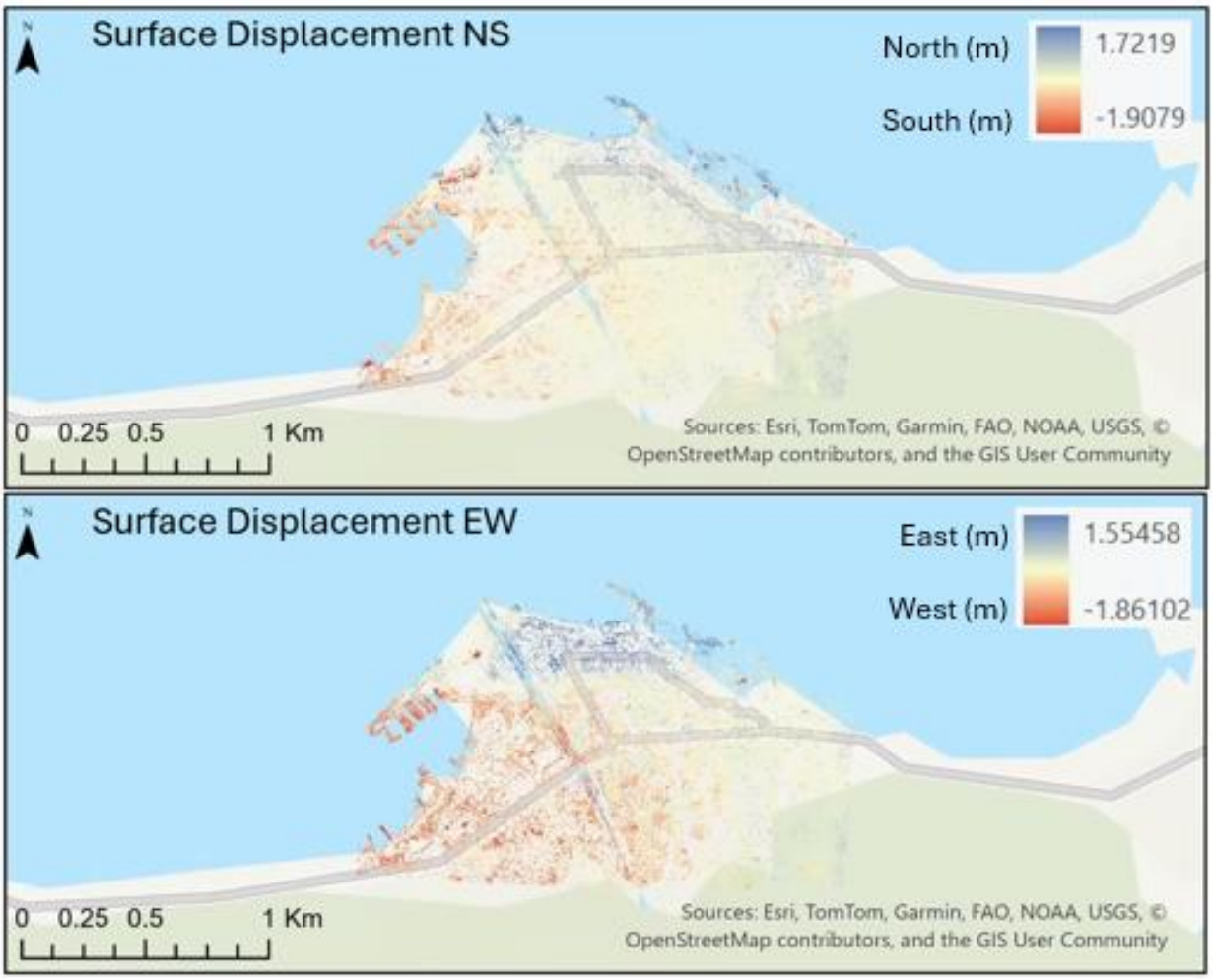


Figura 8-8. Campos de desplazamiento superficial de Naiguatá, descompuestos en componentes norte-sur y este-oeste, comparando imágenes satelitales ópticas entre el 5 de abril de 2026 y el 26 de junio de 2026. Fuente: https://www.sciencebase.gov/catalog/item/6a4402c81ba49b97f88a8889

Estos productos geodésicos y de teledetección indican un desplazamiento cosísmico del orden de decenas de centímetros en la región Caracas-La Guaira, incluyendo hasta aproximadamente 60 cm de desplazamiento superficial hacia el oeste según el InSAR NISAR de la NASA cerca del aeropuerto de Maiquetía, aproximadamente 30 cm de desplazamiento en la línea de visión de Sentinel-1 reportado por la ESA, y aproximadamente 48 cm de desplazamiento hacia el oeste en Caracas con un levantamiento de 3 a 5 cm según una evaluación preliminar GNSS-DInSAR; estos valores deben tratarse como preliminares y distinguirse del deslizamiento de falla finita modelado, para el cual EERI VERT reporta un deslizamiento máximo de 2,0 m basado en el producto de falla finita del USGS.

Como parte del inventario de deformaciones del terreno, el equipo remoto de GEER identificó veintiún características de deformación del terreno, lineales o semilineales (fallas o fracturas), que pueden o no estar asociadas con la ruptura cosísmica de la superficie terrestre. Estas características

se catalogaron como cuestionables porque no se han verificado completamente mediante observaciones de campo, o porque la información de campo disponible no se puede divulgar abiertamente, particularmente en áreas con alta sensibilidad de seguridad como el aeropuerto de Maiquetía. Sin embargo, la deformación cartografiada cerca de este aeropuerto es notable porque la falla de Bruscas ya había sido documentada cruzando cerca del área de la pista del aeropuerto (por ejemplo, Weisbord, 1957). La proximidad espacial de estas características al trazado de la falla de Bruscas, su proximidad a los cambios de desplazamiento superficial del USGS entre rojo y azul (véase la Figura 8-9), junto con la orientación aparente de la deformación paralela a la alineación de la falla, sugieren que estas características cartografiadas podrían estar relacionadas con el desplazamiento de la falla. Esta interpretación debe considerarse preliminar hasta que pueda ser confirmada mediante observaciones de campo por un geólogo cualificado y conciliada con las observaciones terrestres específicas del lugar.

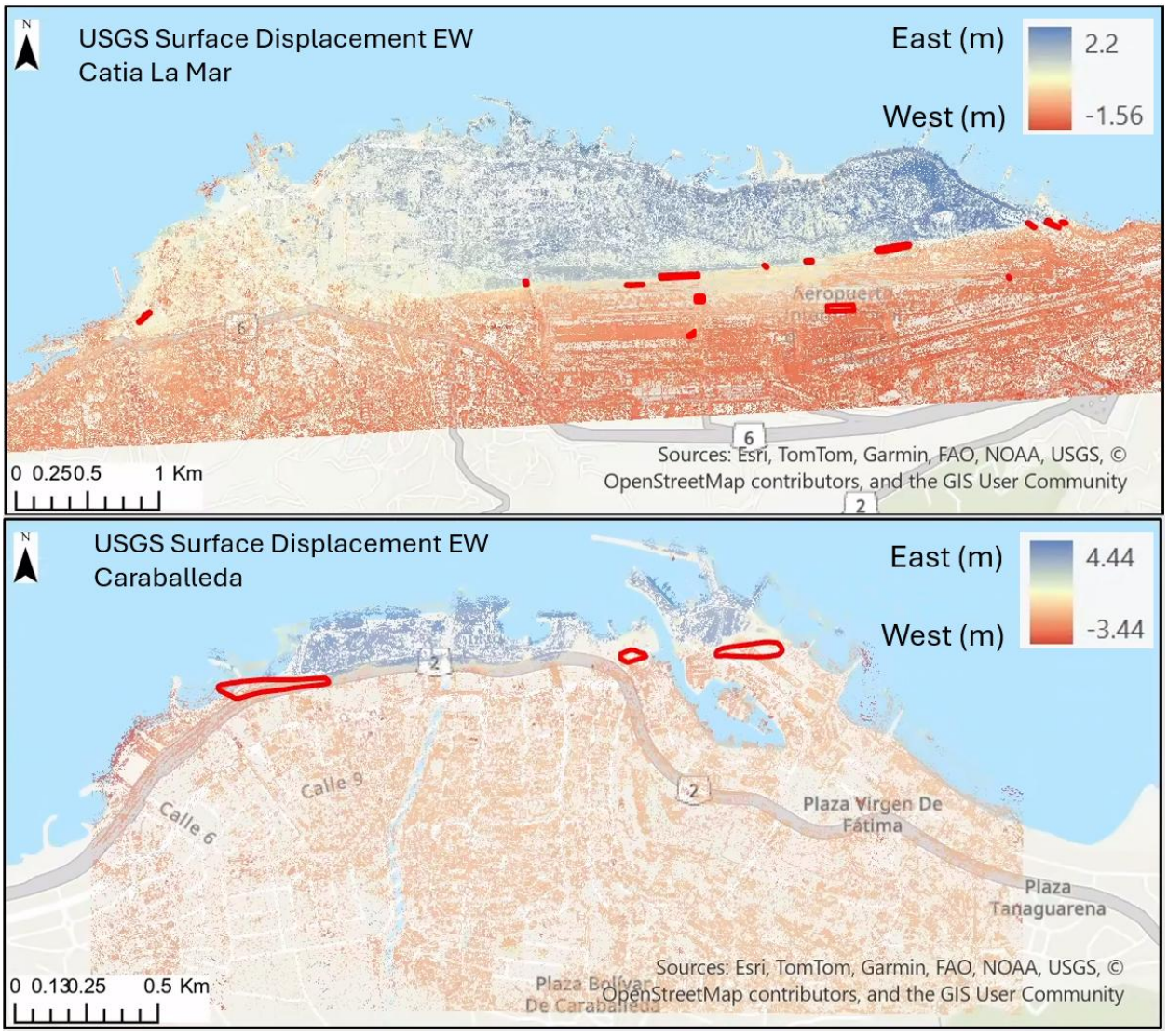


Figura 8-9. Campos de desplazamiento superficial este-oeste del USGS de Catia La Mar (arriba) y Caraballeda (abajo), con características de ruptura del terreno superpuestas (en rojo).

Para ilustrar las observaciones hechas a partir de la evaluación remota, las Figura 8 -10 a la Figura 8-19 ofrecen evidencia fotográfica proporcionada por las fuentes enumeradas en la Tabla 7-2. En cada pie de foto se indican la ubicación y la fecha de los vuelos de los drones.

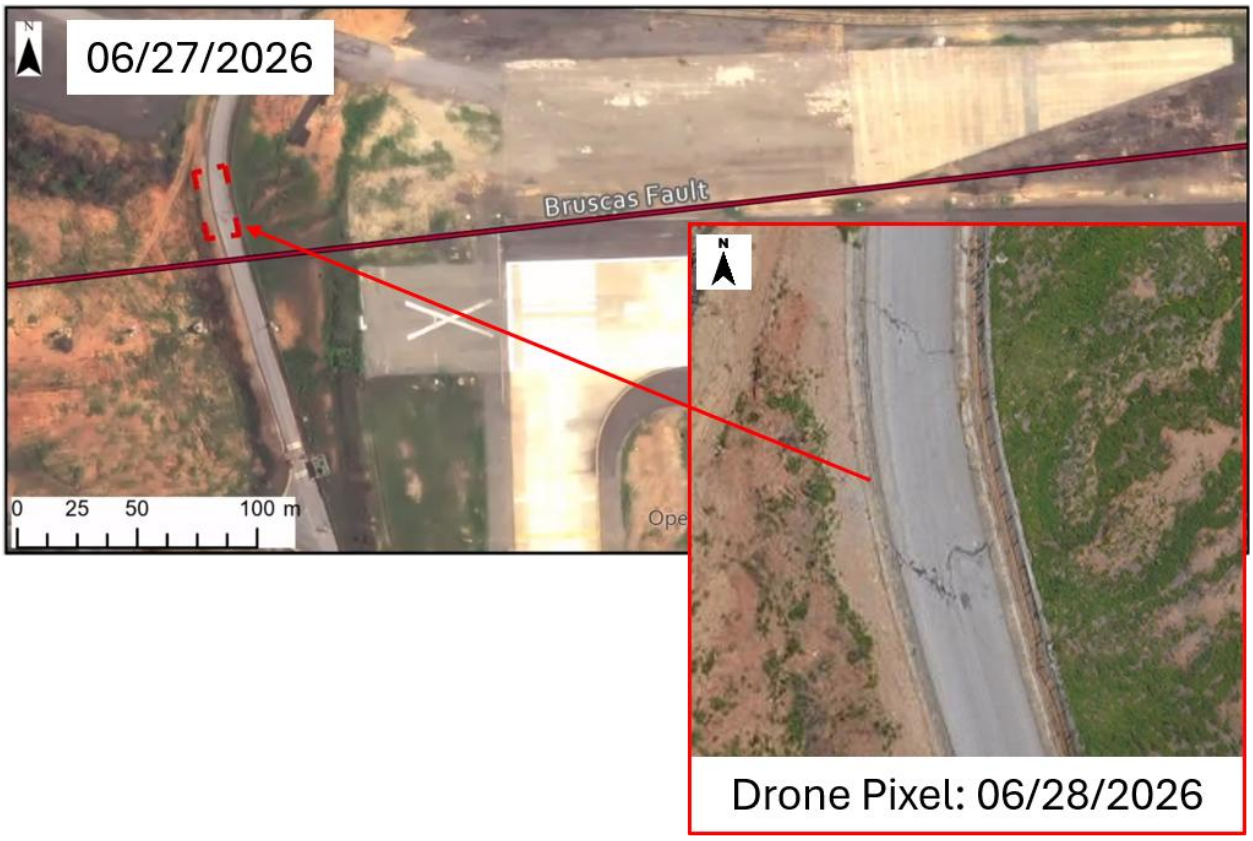


Figura 8 -10. Maiquetía: 67.0137992°O 10.6041824°N. Se observan fracturas en la calzada al oeste de la pista del aeropuerto. Estas fracturas discurren paralelas a la falla de Bruscas y muy cerca de ella (Weisbord, 1957). Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel.

Las fuentes de las imágenes aéreas y el enlace para descargarlas se encuentran en el Capítulo 7, Tabla 7-2.

El equipo de campo de GEER observó una grieta longitudinal que se extiende aproximadamente paralela a la alineación de la pista (véase la Figura 8 -11) y estimó que tenía metros de profundidad en lugar de decenas de centímetros, y que se propaga más allá del pavimento hacia el terreno adyacente sin pavimentar. La continuidad a esa escala, y sobre todo la profundidad de las grietas, son difíciles de conciliar con las fisuras de licuación a escala decimétrica documentadas en otros lugares a lo largo del corredor de La Guaira, y apuntan en cambio a una deformación del terreno subyacente controlada estructural o tectónicamente, posiblemente agravada por el ablandamiento cíclico del relleno y los depósitos costeros.

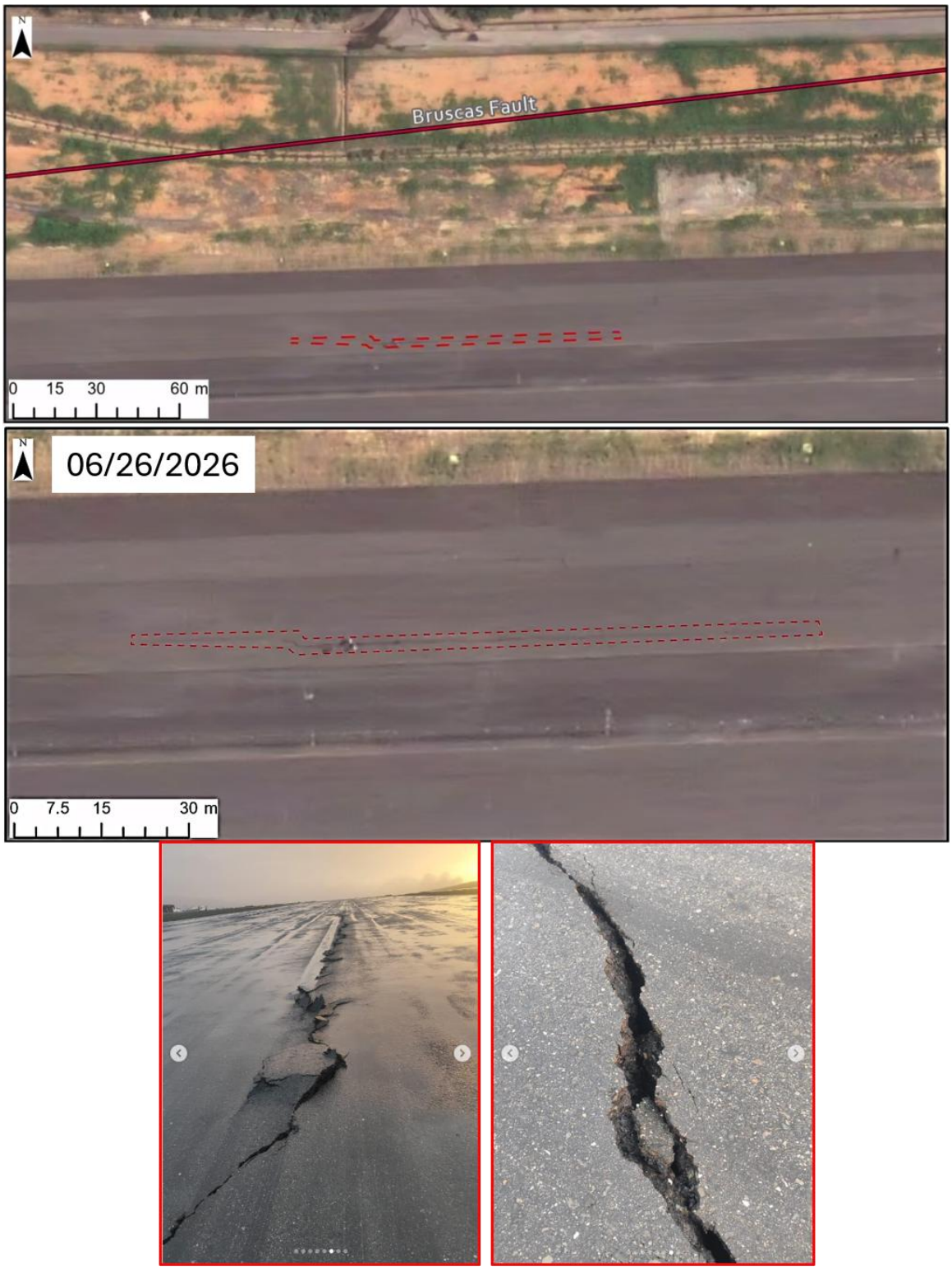


Figura 8 -11. Aeropuerto de Maiquetía: 67.0070831°O 10.6040419°N. Se observan fracturas en la pista norte del aeropuerto. Fotografías obtenidas de publicaciones en redes sociales de Tele Sur TV

e imágenes aéreas de Vantor. Esta fractura es pseudoparalela y próxima a la falla de Bruscas (Weisbord, 1957).

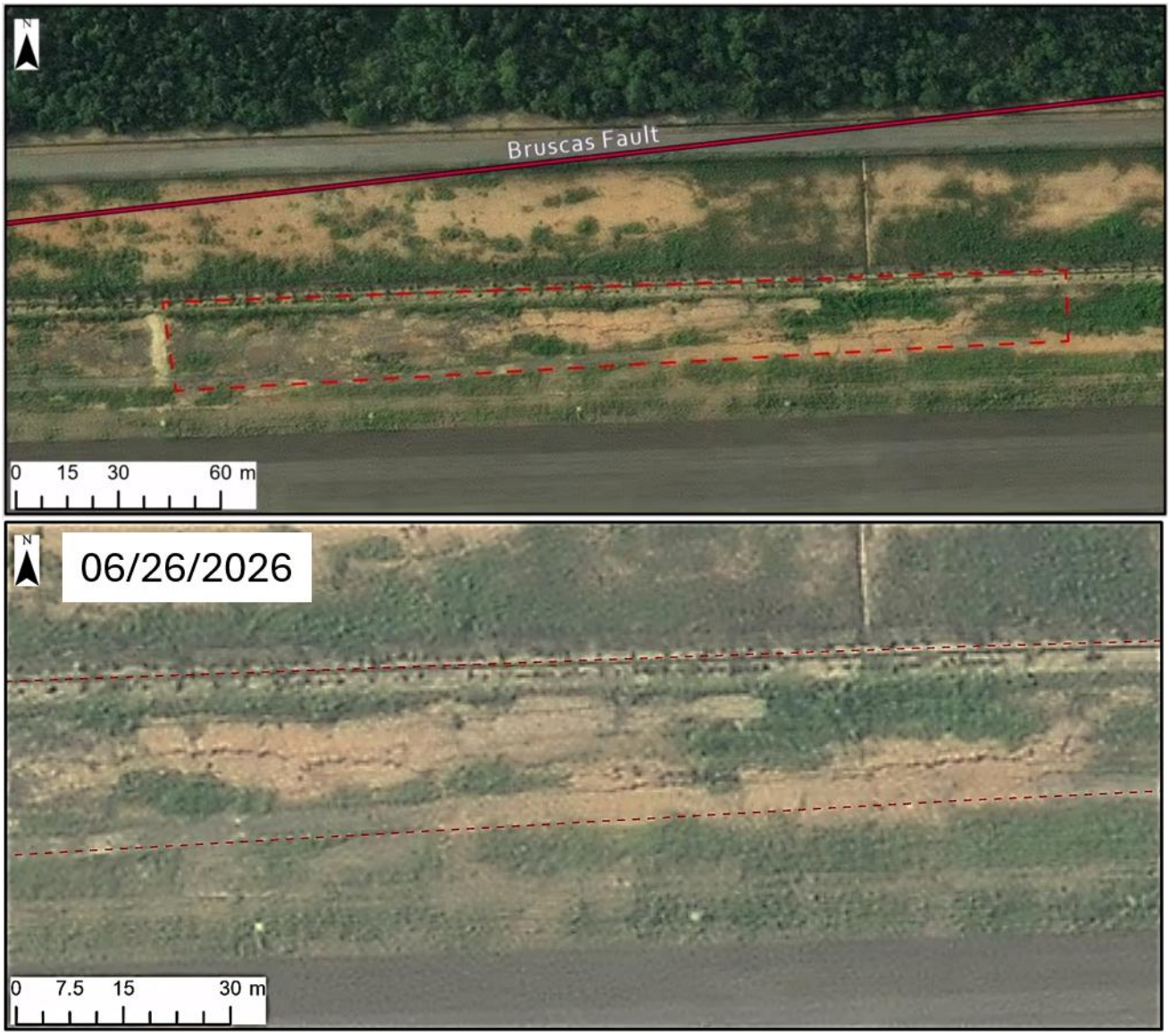


Figura 8 -12. Aeropuerto de Maiquetía: 67.0039414°O 10.6046294°N. Se observan fracturas al norte de la pista del aeropuerto. Estas fracturas discurren pseudoparalelas a la falla de Bruscas y muy cerca de ella (Weisbord, 1957). Imágenes aéreas de Vantor.



Figura 8 -13. Aeropuerto de Maiquetía: 66.9943662°O 10.6026870°N. Las fracturas visibles en la pista, con filtraciones aparentes, sugieren la posible presencia de un nivel freático poco profundo en este lugar. Estas discurren pseudoparalelas a la falla de Bruscas. Imágenes aéreas de Vantor.

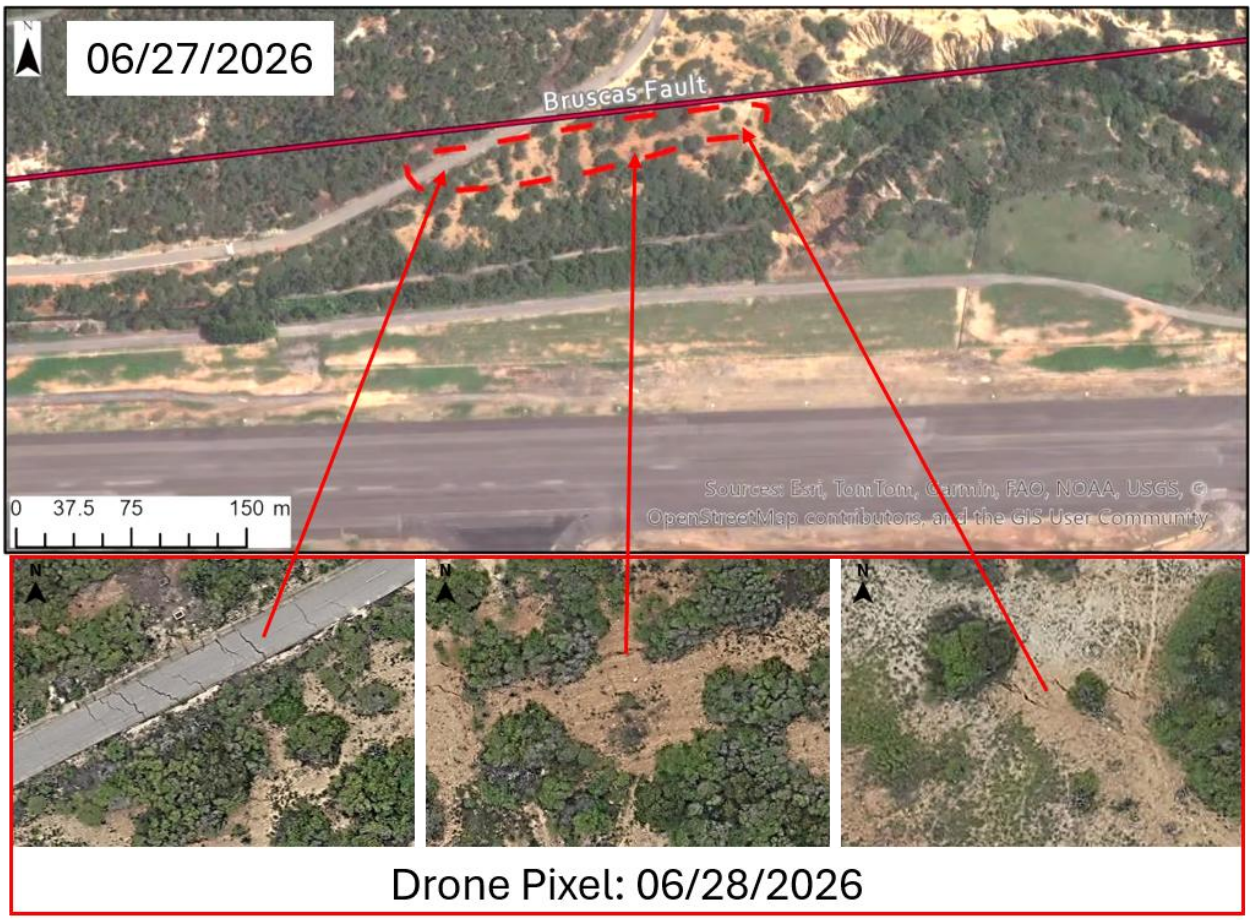


Figura 8 -14. Maiquetía: 66.9911560°O 10.6063107°N. Se observan fracturas al norte de la pista del aeropuerto. Estas fracturas discurren paralelas a la falla de Bruscas o muy cerca de ella (Weisbord, 1957). Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel.

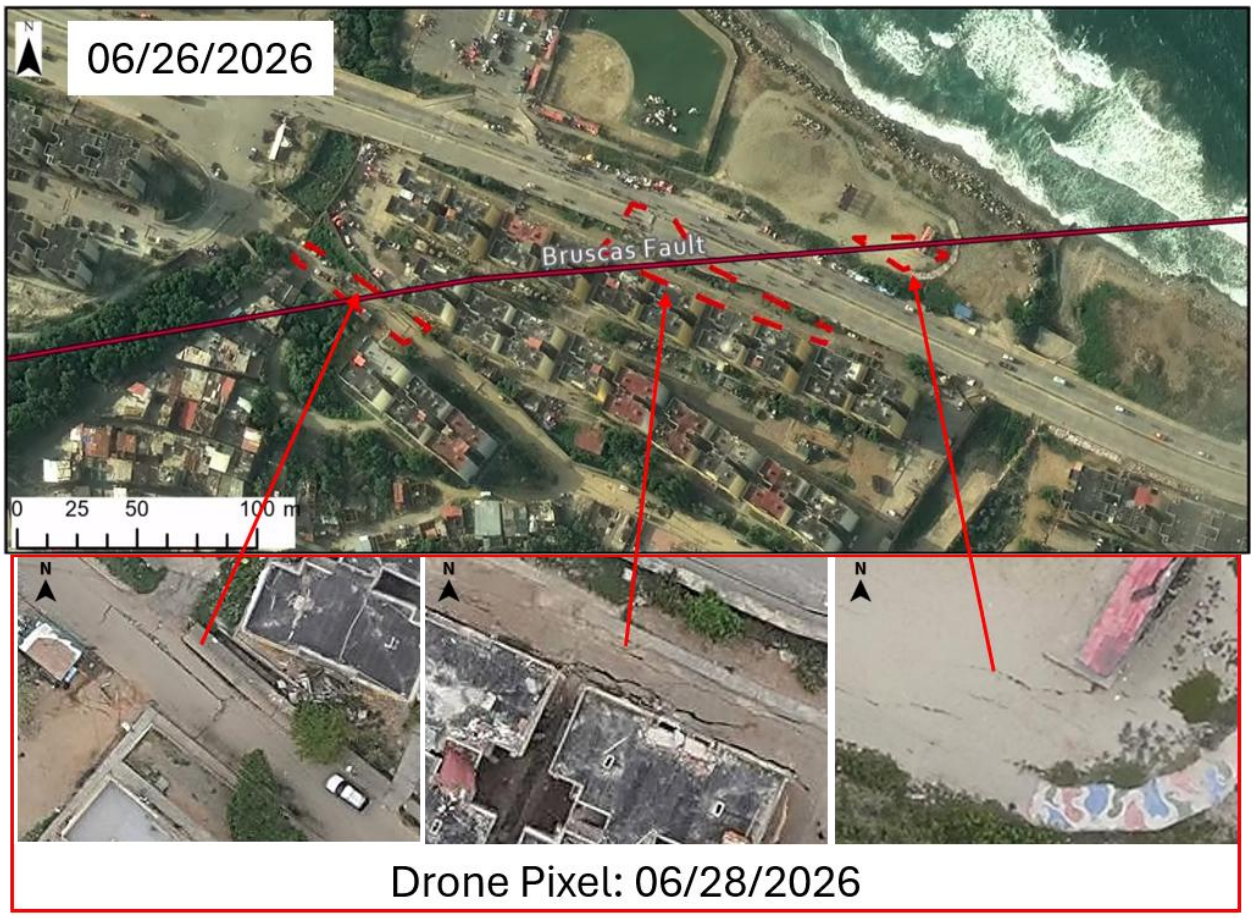


Figura 8-15. Maiquetía: 66.9808956°O 10.6078731°N. Se observan fracturas al noreste de la pista del aeropuerto. Estas fracturas se encuentran muy cerca de la falla de Bruscas (Weisbord, 1957). La zona más oriental (imagen inferior derecha) podría estar asociada con expansión lateral. Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel.

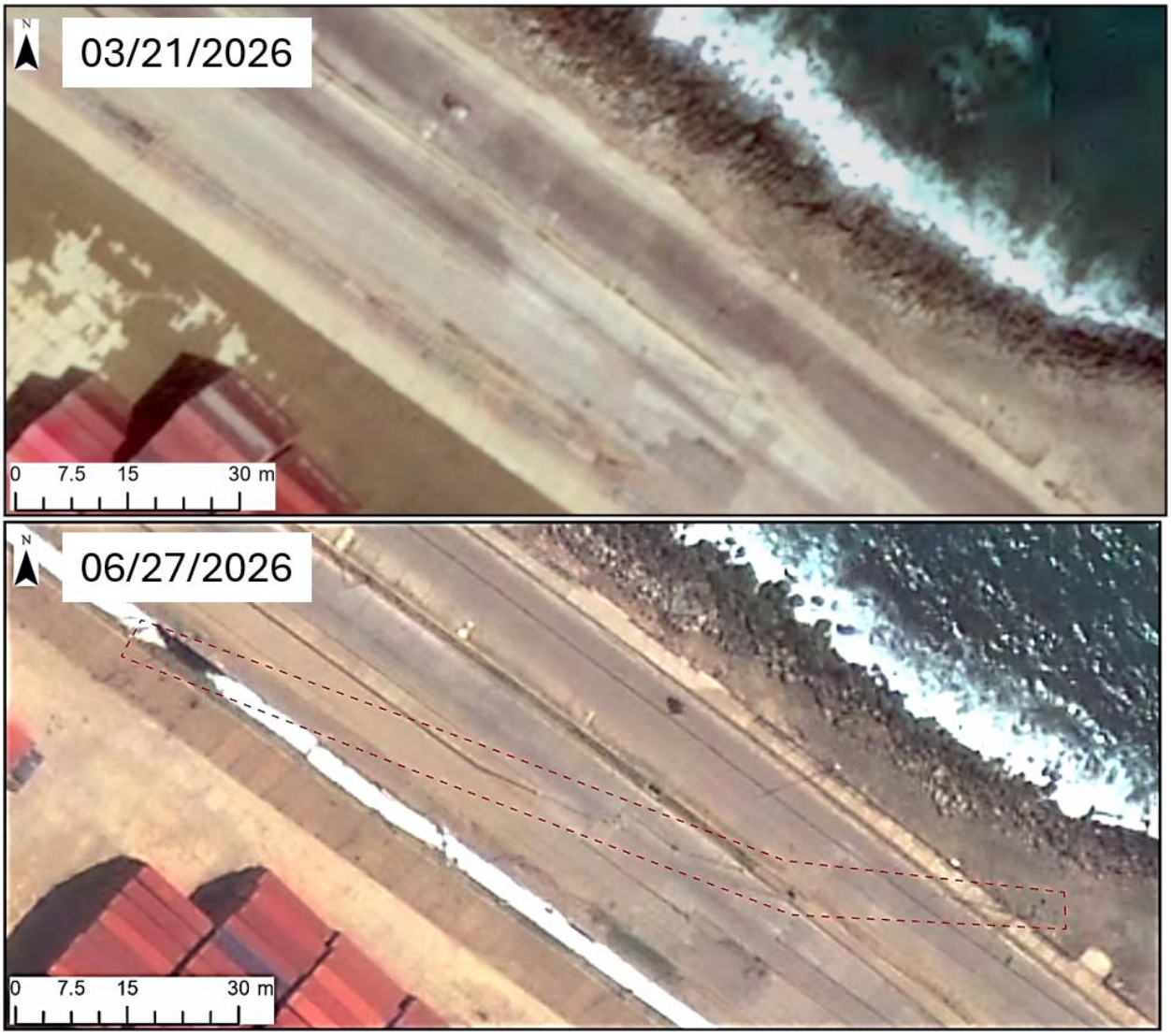


Figura 8-16. Maiquetía: 66.9682377°W 10.6054840°N. Se observa fractura en Avenida Bicentenario. Esta fractura se encuentra muy cerca de la falla de Bruscas. Imágenes aéreas de Vantor.

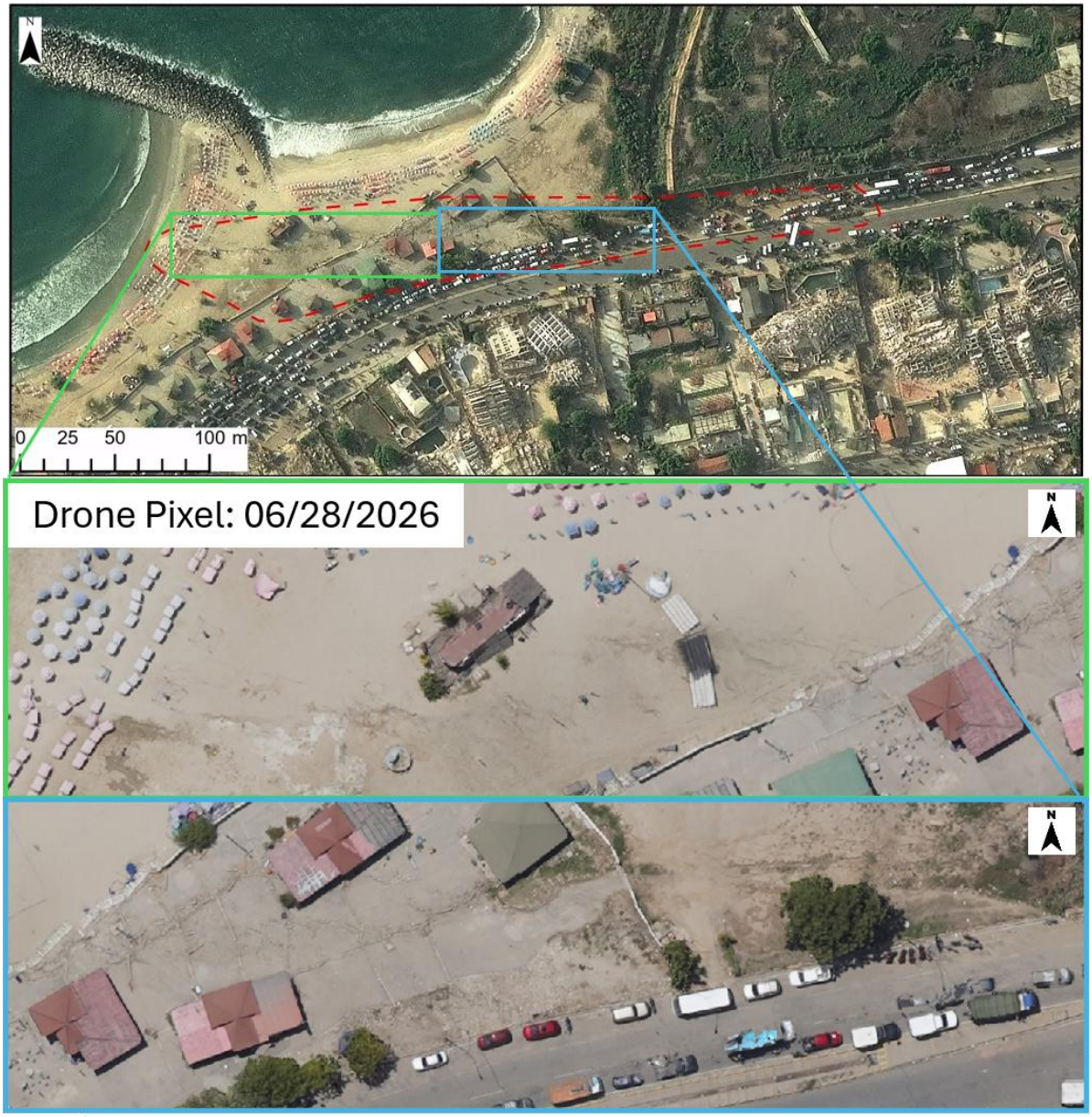


Figura 8-17. Caraballeda: 66.8573623°O 10.6185046°N Patrón lineal de fracturas a lo largo de una longitud aproximada de 350 m. La mayor parte de la deformación se concentra en una franja de 10 metros de ancho. También se observan filtraciones y emanaciones de arena. Aunque estas características pueden estar asociadas con expansión lateral, la alineación de las fracturas se encuentra muy cerca de la traza de desplazamiento lateral del USGS representada por el polígono rojo discontinuo. La imagen aérea superior es de Vantor y las dos imágenes aéreas inferiores son cortesía de Drone Pixel.



Figura 8-18. Caraballeda: 66.8454351°O 10.6194776°N. Un conjunto de 8 a 10 grietas paralelas posiblemente asociadas con la ruptura cosísmica del terreno según su proximidad a la traza de falla de desplazamiento mapeada por el USGS y su patrón de deformación distintivo. Sin embargo, al finalizar este informe no se pudieron descartar las fracturas del terreno relacionadas con la licuación. Imágenes aéreas de Vantor y Drone SIGIS.

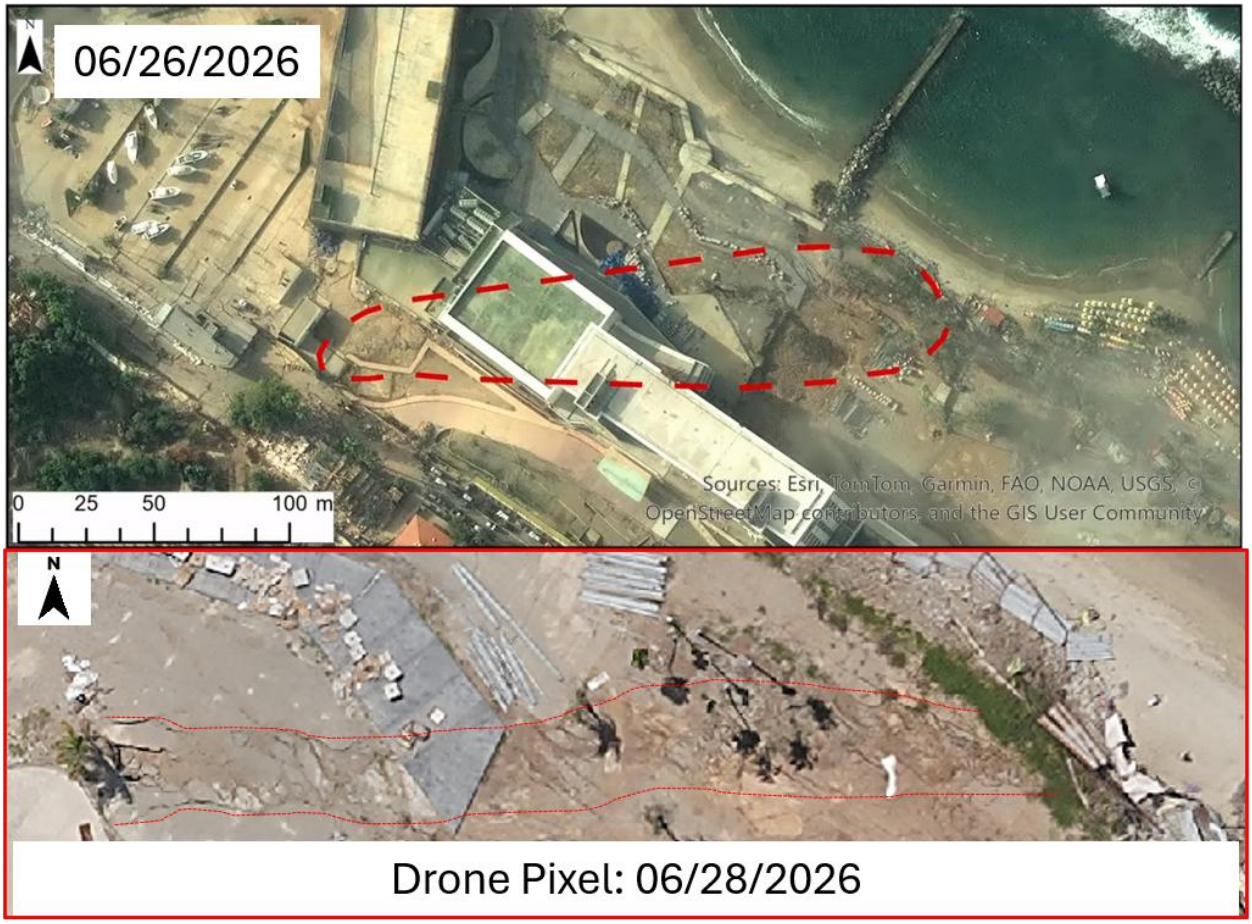


Figura 8-19. Caraballeda: 66.8411222°O 10.6195982°N. Patrón lineal de deformación del terreno con grietas muy próximas entre sí, interpretado como una posible ruptura cosísmica del terreno en función de su proximidad a la traza de la falla de desplazamiento del USGS y sus características de deformación, que difieren de las de las grietas del terreno cercanas relacionadas con la licuación. Alternativamente, estas grietas podrían estar asociadas con la expansión lateral. Imágenes aéreas de Vantor y Drone Pixel.

8.3 Recomendaciones para futuros estudios

Las imágenes aéreas posteriores al terremoto resultaron útiles para identificar rasgos de concentraciones de deformaciones lineales del terreno que pudieran estar asociadas con la ruptura cosísmica del terreno, especialmente en áreas con acceso limitado o restringido. Si bien el reconocimiento remoto no es adecuado para determinar desplazamientos de fallas detallados a escala centimétrica o menor, ofrece una herramienta de selección eficaz para priorizar áreas para la evaluación de campo, particularmente donde la deformación cartografiada se alinea con trazas de fallas conocidas o inferidas, gradientes geodésicos de desplazamiento u otra evidencia independiente de ruptura. Las futuras labores de reconocimiento deberían incluir la verificación en el terreno por parte de geólogos calificados para evaluar si las grietas o desplazamientos observados reflejan una ruptura tectónica, medir el desplazamiento cuando sea posible y caracterizar el mecanismo de falla. Los equipos de campo deben documentar la geometría de la

ruptura, su orientación, el sentido y la magnitud del desplazamiento, la continuidad, la expresión geomorfológica y las relaciones de intersección con carreteras, estructuras, elementos de drenaje u otros marcadores.

Los levantamientos geofísicos superficiales específicos también pueden ayudar a precisar la ubicación de las presuntas deformaciones relacionadas con fallas cuando la evidencia superficial está oculta, pavimentada, alterada o inaccesible. Debido a que estos métodos capturan imágenes de contrastes indirectos del subsuelo en lugar de la ruptura de la falla en sí, sus resultados deben tratarse como evidencia complementaria e interpretarse junto con el mapeo de campo, los indicadores geomorfológicos, los marcadores desplazados y los productos de desplazamiento geodésico antes de atribuir un rasgo a una ruptura superficial cosísmica.

8.4 Referencias

Hanagan, C., Reitman, N.G., Barnhart, W.D., y Schmitt, R., 2026, Remote Observations of Surface Deformation for the **M**7.2 and **M**7.5 2026 Venezuela Earthquakes (Provisional Release): U.S. Geological Survey data release [Observaciones remotas de la deformación de la superficie para los terremotos de magnitud 7.2 y 7.5 de Venezuela de 2026 (publicación provisional) Publicación de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos] https://doi.org/10.5066/P13QPYJX.

Suárez Acosta, H. D., & Arenas Bermúdez, I. (13 de julio de 2026). Preliminary GNSS+DInSAR Evidence of Coseismic Deformation in Venezuela Associated with the June 24, 2026 Earthquakes [Evidencia preliminar de deformación cosísmica mediante GNSS+DInSAR en Venezuela asociada con los terremotos del 24 de junio de 2026]. SIGGMA.

Weisbord, N.E., 1957, Notes on the Cabo Blanco Area, Venezuela [Notas sobre el área de Cabo Blanco, Venezuela]. Bulletins of American Paleontology, v. 38, no. 165, p. 1–51.

9. LICUACIÓN

Tabla 9-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Gonzalo A. Montalva	Profesor de la Universidad de Concepción, Chile
Patricia Varela	Geólogo sénior en Geosyntec Consultants, Inc.
Francisco J. Pinto	Profesor Asistente, Universidad de Chile
Ramón Mata-Lemus	Profesor Asistente; Universidad San Sebastián, Chile
William Zakka	Investigador de posgrado en University of California, Berkeley, EE. UU.

El apoyo financiero para las contribuciones del profesor Francisco J. Pinto se obtuvo a través del Grupo de Ingeniería Estructural, Sísmica y Geotécnica del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile

Este capítulo recopila las pruebas de licuación y fallas del terreno inducidas por la licuación documentadas después de los terremotos del 24 de junio. Más allá de documentar los hallazgos, el capítulo está escrito para servir como plataforma de trabajo para la investigación destinada a reducir los daños inducidos por la licuación: cada observación está georreferenciada, las mediciones se tabulan con sus fuentes, se indica expresamente la confianza del intérprete, se mantienen visibles los mecanismos alternativos en lugar de resolverlos mediante afirmaciones, y la Sección 9.8 organiza las observaciones en posibles casos de estudio junto con los datos que aún se requieren para completar cada uno.

Aquí se utilizan cuatro flujos de información:

- Documentación de campo recopilada entre el 10 y el 19 de julio de 2026 por colegas venezolanos y equipos de colaboración en labores de reconocimiento que contribuyeron a este informe. La mayoría de las fotografías incluyen la integración de una marca de tiempo y posición GPS, y varios sitios incluyen mediciones con cinta del ancho, el desplazamiento y el asentamiento de las grietas.
- Interpretación sistemática de imágenes ópticas de alta resolución posteriores al evento (véase la Tabla 7-2, Capítulo 7), que produjo un inventario georreferenciado de 68 polígonos a lo largo del corredor costero de La Guaira, relacionados con la licuación.
- El Informe Preliminar de Reconocimiento Virtual de StEER y su repositorio multimedia anotado y georreferenciado (StEER, 2026; proyecto DesignSafe PRJ-6380), junto con los productos ShakeMap y de fallas finitas del USGS.
- Fotografías y vídeos que circularon en redes sociales y fueron compartidos a través de la red E2SCALA (https://e2scala.ccee.ncsu.edu/) y la Sociedad Venezolana de Geotecnia, geolocalizados en imágenes de Google Earth previas al evento; esto incluye vídeos de grandes fisuras en el terreno en la zona epicentral del municipio de Veroes, Yaracuy.

Varios emplazamientos a lo largo de este corredor, incluidas dos zonas de licuación con emanaciones de arena en Catia La Mar, las zonas de desprendimiento lateral del frente marítimo de Caraballeda, las cuadras residenciales a lo largo de la Avenida Bicentenario y la terminal de contenedores de La Guaira, se están documentando por algunos de los autores de este capítulo como parte de publicaciones separadas que se encuentran en preparación. Sus observaciones, mediciones, interpretaciones y fotografías no se comparten aquí a petición suya. Por lo tanto, esos sitios están ausentes de este capítulo o aparecen solo como elementos de seguimiento en la Sección 9.8.

Algunas de las primeras imágenes sistemáticas son posteriores a los terremotos en dos días y a las visitas de campo que se describen en este capítulo en aproximadamente dieciséis días. El retiro de escombros, la demolición, el tráfico de maquinaria pesada y las lluvias podrían haber modificado muchas superficies. Los sedimentos expulsados en playas, patios sin pavimentar y terrenos con vegetación se encuentran entre las clases de evidencia de campo menos duraderas, por lo que el inventario presentado aquí puede utilizarse como un límite inferior del alcance del desencadenamiento.

9.1 Evidencia histórica de licuación en las regiones afectadas

Los registros históricos documentan la licuación sísmica del suelo en el norte de Venezuela durante varios terremotos importantes, incluidos los eventos del 26 de marzo de 1812, 12 de abril de 1878, 29 de octubre de 1900, 29 de julio de 1967 y la secuencia de abril-mayo de 1989 (Rodríguez, Audemard y Rodríguez, 2006).

Durante el evento de 1812 se observaron manifestaciones de licuación en La Guaira, Caracas (a lo largo del valle del río Guaire en El Paraíso) y el estado Aragua (zonas de Choroní, Barbacoas y La Victoria). Se cree que el suceso de 1878 provocó la licuación del suelo cerca del río Cúa, en el estado de Miranda. Se han documentado posibles indicios de licuación luego del terremoto de 1900 en las zonas costeras de Macuto, Caraballeda, Camurí Grande, Los Caracas, La Sabana y Chuspa, así como en el estado Miranda, Caracas (zona de San Jacinto) y el estado Anzoátegui. Durante el terremoto de Caracas de 1967, se observaron indicios de licuación en Playa Caraballeda y a lo largo de la costa sur del lago de Valencia en Güigüe, Carabobo. Por último, entre mayo y abril de 1989, dos terremotos moderados (mb 5.7 y 5.0) en las zonas costeras orientales del estado Falcón provocaron licuación en las llanuras aluviales y el delta del río Tocuyo (Audemard y De Santis, 1991). En la Tabla 9-2 se ofrece un resumen de los registros históricos que documentan la licuación, incluido el tipo de evidencia observada.

Tabla 9-2. Resumen de la evidencia histórica de licuación en las regiones afectadas (modificado de Rodríguez, Audemard y Rodríguez, 2006)

Evento	Ubicación	Ambiente sedimentario	Tipo de evidencia[1]	Confianza
Terremoto de 1812	La Guaira/Vargas	Fluvial/Aluvial	GC; WD	Probable
	El Paraíso, Caracas	Aluvial	SE; GC; WD	Probable
	Choroní, Aragua	Costero	SE; GC; LS	Probable

Evento	Ubicación	Ambiente sedimentario	Tipo de evidencia[1]	Confianza
	Barbacoas, Aragua	Aluvial	SE; GC	Probable
	La Victoria, Aragua	Fluvial/Lacustre	GS; GC	Probable
Terremoto de 1878	Cerca del río Cua, Miranda	Fluvial	GC; WD	Probable
Terremoto de 1900	Macuto, Vargas	Fluvial/Aluvial/Costero	WD	Cuestionable
	Caraballeda, Vargas	Fluvial/Aluvial/Costero	WD	Cuestionable
	Camurí Grande, Vargas	Fluvial/Aluvial/Costero	GC	Cuestionable
	Los Caracas, Vargas	Fluvial/Aluvial/Costero	GC	Cuestionable
	La Sabana, Vargas	Fluvial/Aluvial/Costero	GC; WD	Probable
	Chuspa, Vargas	Fluvial/Aluvial/Costero	GC; WD	Probable
	Paparo, Miranda	Fluvial/Aluvial/Costero	GS	Cuestionable
	Tramo ferroviario entre Carenero y Río Chico, Miranda	-	GS	Posible
	Capaya, Miranda	-	GS	Posible
	San Jacinto, Caracas	-	SE; WD	Cuestionable
	Cerca del río Neverí, Anzoátegui	Fluvial/deltaico	SE; GS; GC; WD; LS	Probable
Terremoto de 1967	Playa Caraballeda, Vargas	Costero	GS; GC; WD; LS	Probable
	Güigüe, Carabobo	Lacustre	WD; LS	Probable
Secuencia de 1989	Tocuyo/Boca de Mangle/Chichiriviche, Falcón	Depósitos intrabarrera	SE; GC; SB	Probable

[1]SE = eyección de suelo; GS = asentamiento del terreno; GC = grietas en el terreno; WD = descarga de agua; LS = expansión lateral; SB = emanaciones de arena

9.2 Contexto geológico y geomorfológico de las zonas afectadas

La gran mayoría de los casos de licuación documentados se concentran en una estrecha franja costera del estado de La Guaira con unos 30 km de longitud, que se extiende desde Catia La Mar en el oeste, pasando por Maiquetía, La Guaira y Macuto, hasta Caraballeda y Tanaguarena en el este. La franja es una cinta discontinua de abanicos aluviales coalescentes, depósitos de playa y cordones litorales, sedimentos de desembocadura de ríos y rellenos costeros artificiales, situada entre el escarpado frente norte de la Cordillera de la Costa y el Mar Caribe (véase el Capítulo 4). Los abanicos aluviales se formaron y fueron retrabajados en repetidas ocasiones por flujos de detritos que descendían del macizo del Ávila. El evento de diciembre de 1999, por sí solo, depositó

grandes volúmenes de arena, grava y cantos rodados en lo que ahora es la huella urbana de Caraballeda y sus vecinos (Wieczorek et al., 2001), y las investigaciones superficiales en los frentes de las colinas entre Catia La Mar y Caraballeda indicaron sedimentos superficiales del orden de 3 m sobre esquisto y gneis erosionados.

El espesor de los sedimentos aumenta bruscamente hacia el mar. El modelo geofísico de Romero et al. (2006), basándose en datos de refracción sísmica, ruido ambiental y gravedad, indica una profundidad hasta el basamento de aproximadamente 180 m en La Guaira, 290 m cerca de Punta El Cojo en Macuto y 450 m cerca de la línea costera de Caraballeda, con períodos fundamentales de sitio a través de las superficies del abanico de aproximadamente 0.9 a 1.8 s. El nivel freático es poco profundo a lo largo de la costa, y casi todas las geoformas descritas en este capítulo se encuentran a unos 250 metros de la costa o a pocos metros de un canal fluvial o una marina. Desde hace tiempo se reconoce que los daños en este corredor son sensibles a las condiciones geológicas y geotécnicas locales, y la concentración de los daños de 2026 en depósitos costeros recientes que contienen agua repite un patrón documentado después de terremotos anteriores en Venezuela.

9.3 Evaluación de los riesgos de licuación

El modelo geoespacial de riesgo de licuación de Zhu et al. (2017 - Figura 9-1) muestra que la franja costera de La Guaira, el valle inferior del Yaracuy y las cuencas del Tuy, Valencia y Barlovento tienen un riesgo relativo mayor de licuación. El modelo se basa en variables indirectas V_{s30}, la distancia a los cuerpos de agua y la humedad climática, y no puede resolver los estrechos abanicos aluviales ricos en cantos rodados de la costa de La Guaira, donde la susceptibilidad a la licuación varía en decenas de metros entre gravas densas de abanico, arenas sueltas de playa y canal, y rellenos de marina colocados hidráulicamente. Se pueden obtener estimaciones mejoradas sobre la susceptibilidad a la licuación local y del riesgo mediante la ejecución de pruebas in situ (Sección 9.8); no obstante, el evento de 2026 ofrece una oportunidad inusualmente bien definida para probar modelos geoespaciales como el que se muestra en la Figura 9-1 con datos de campo (véase la Tabla 9-5) frente a evidencia tanto positiva como negativa.



Figura 9-1. Mapa geoespacial del riesgo de licuación para el centro-norte de Venezuela; el azul indica una mayor probabilidad de licuación y el marrón una menor. Modelo de Zhu et al. (2017)

9.4 Distribución espacial de la licuación observada

Las manifestaciones superficiales de la licuación incluyen asentamientos excesivos, desprendimiento lateral y eyección de material a la superficie. Luego de los terremotos de junio de 2026 en Venezuela, se registraron manifestaciones de licuación superficial a lo largo de gran parte de la costa norte venezolana, observándose la mayor concentración en La Guaira. El equipo remoto de GEER hizo un inventario de 68 manifestaciones relacionadas con el desprendimiento lateral y la licuación, incluyendo asentamientos, volcanes de arena, grietas en el suelo y subsidencia, entre Maiquetía y Tanaguarena, como se muestra en la Figura 9-2. En los lugares donde fue posible el acceso, el equipo de campo local de GEER visitó sitios seleccionados y verificó la presencia de deformaciones del terreno relacionadas con la licuación.

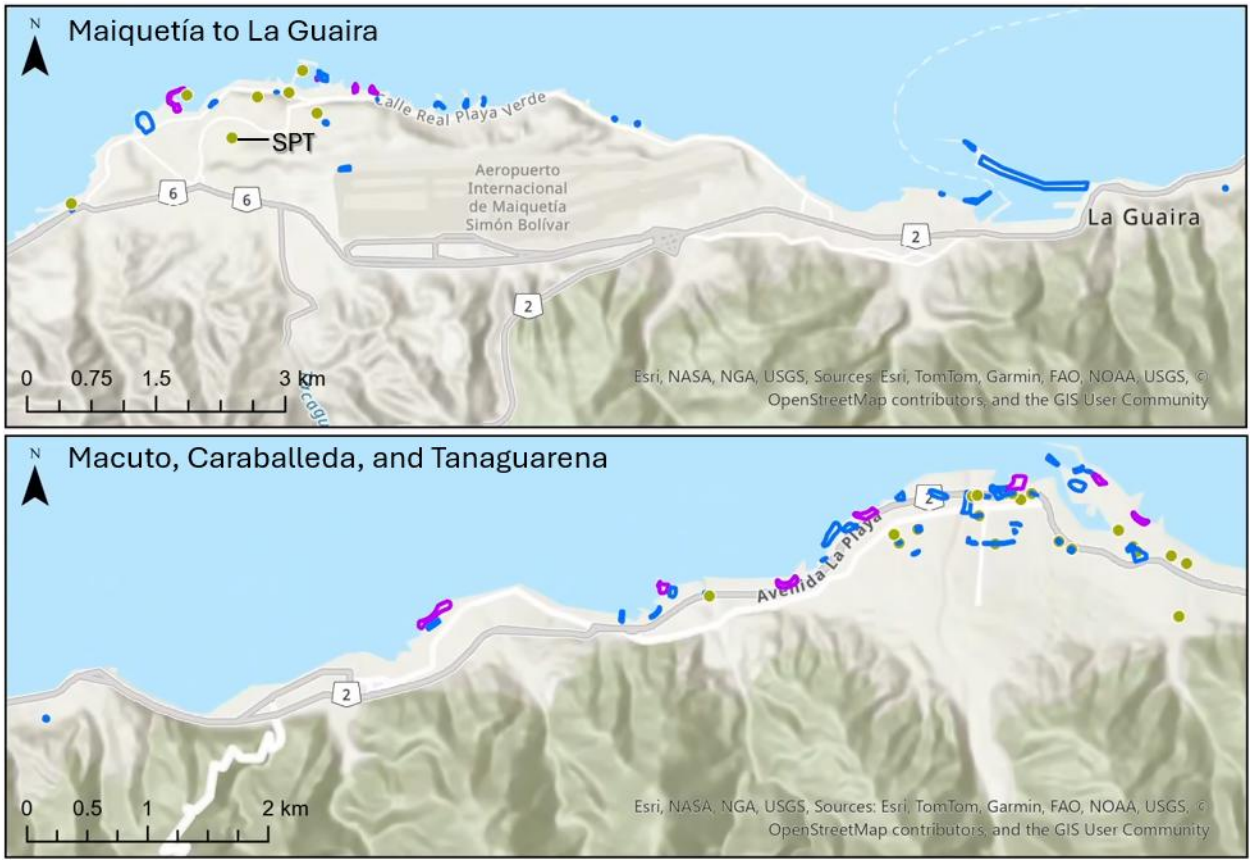


Figura 9-2. Manifestación superficial de la licuación. Los polígonos azules representan volcanes de arena, grietas en el suelo o subsidencia (sin expansión lateral), mientras que los polígonos morados representan características de desprendimiento lateral cartografiadas por el equipo remoto de GEER, que combina imágenes satelitales y de drones anteriores y posteriores al terremoto. Los puntos verdes son observaciones de campo (véase la Tabla 9-4).

9.4.1 Patrón regional y demanda sísmica

La evidencia se divide en tres grupos (Figura 9-3). El primero, y con mucho el mejor documentado, es el corredor costero de La Guaira. El segundo se ubica en el valle del río Yaracuy, a pocos kilómetros del epicentro del terremoto de San Felipe, donde se documentó una larga fisura paralela al río en Pueblo Ferriar, se filmó una extensa fisura por licuación en el municipio Veroes y se reportaron grandes y profundas grietas en el suelo entre Agua Negra y Palmarejo. El tercero recorre la costa central entre Morón/Puerto Cabello y Chuao, incluyendo el agrietamiento de la playa al este de Puerto Cabello y la licuación con volcanes de arena en Boca de Aroa, georreferenciada en el repositorio de medios StEER.



Figura 9-3. Distribución regional de las evidencias de licuación informadas en relación con los epicentros del 24 de junio de 2026. En este capítulo se analizan tres clústeres: el corredor costero de La Guaira (detalles en la Tabla 9-2), el valle del río Yaracuy cerca del epicentro del terremoto de San Felipe y la costa central entre Morón/Puerto Cabello y Boca de Aroa.

9.4.2 Inventario elaborado a partir de imágenes posteriores al evento

La Tabla 9-3 resume las 68 geoformas relacionadas con la licuación identificadas a lo largo del corredor de La Guaira, incluyendo volcanes de arena, grietas en el suelo, subsidencia y expansión lateral. En el caso de las geoformas cuya evidencia fue efímera y que quizás ya no sean observables, como los volcanes de arena y el desprendimiento lateral en las playas, que no se verificaron sobre el terreno, el inventario de teledetección ofrece una valiosa documentación de su ocurrencia en el período inmediatamente posterior al terremoto. Por el contrario, durante futuras investigaciones de campo se podrían evaluar geoformas que pueden persistir durante períodos más prolongados, como subsidencia, grietas en el suelo y algunas expansiones laterales, para confirmar o validar estas interpretaciones. Las diferencias entre los mecanismos de falla inferidos remotamente y los verificados en el sitio resaltan el valor del reconocimiento de campo para validar y refinar las interpretaciones derivadas de la teledetección. Al proporcionar observaciones de control en el terreno, las investigaciones de campo ayudan a calibrar las metodologías de reconocimiento remoto, a mejorar la confianza en la clasificación de mecanismos y a identificar nuevas limitaciones que deben documentarse al interpretar los rasgos de fallas del terreno inducidas por terremotos basándose únicamente en imágenes.

Tabla 9-3. Deformación del terreno cartografiada debido a la licuación a lo largo del corredor costero de La Guaira a partir de imágenes ópticas posteriores al evento, según el tipo de evidencia y el grado

de confianza del analista. Las reclasificaciones de campo analizadas en la Sección 9.5.7 se aplican parcialmente aquí, de modo que la interpretación remota siga siendo auditable.

Tipo de evidencia	Probable	Posible	Cuestionable	Total
Emanaciones / eyecciones de arena	6	12	1	19
Grietas y fisuras en el suelo	22	5	2	29
Subsidencia	6	1	0	7
Expansión lateral	10	3	0	13
Total	44	21	3	68

Las Figura 9-4 a la Figura 9-7 muestran ejemplos de deformación del terreno relacionada con la licuación observada mediante imágenes aéreas.

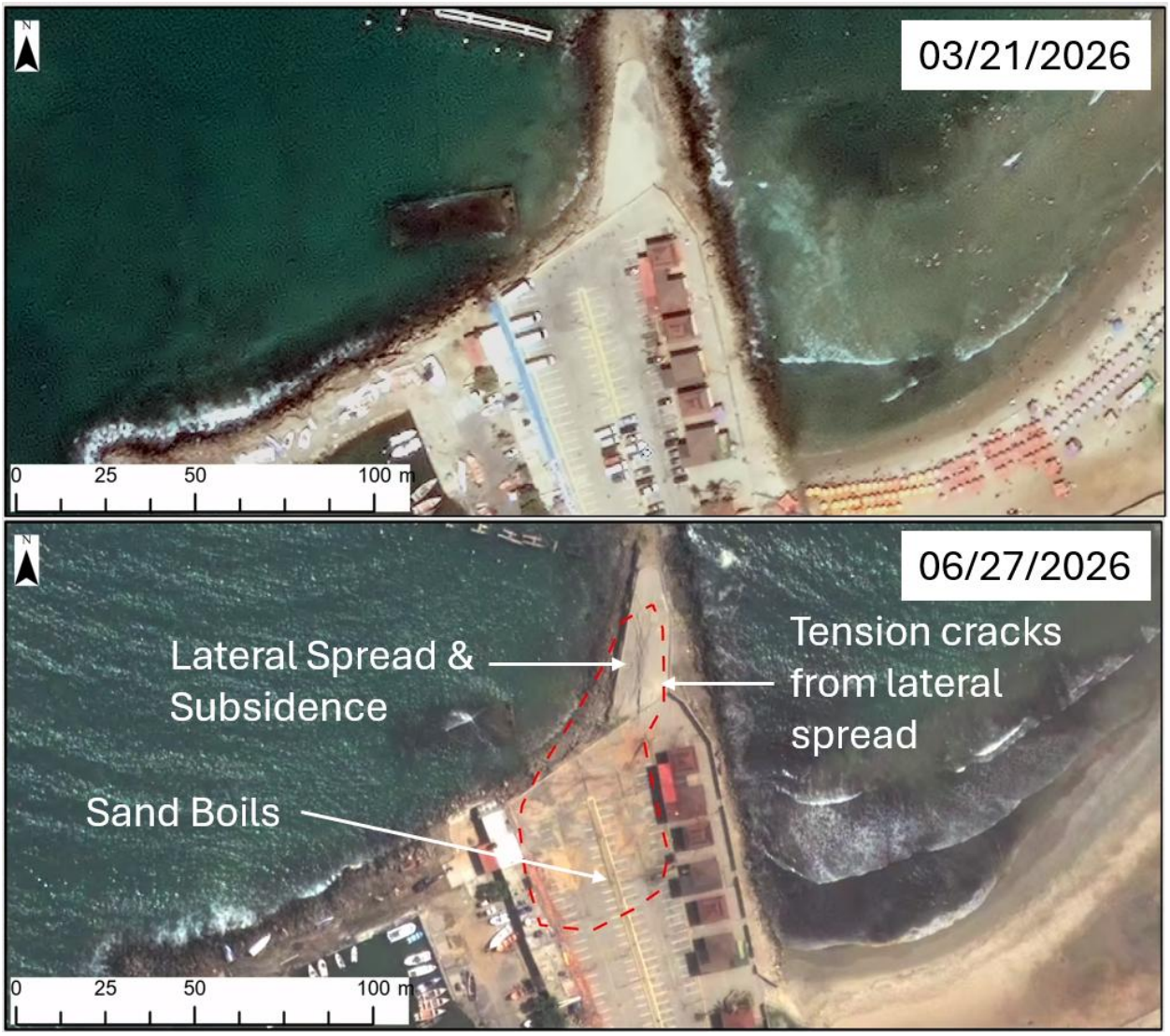


Figura 9-4. Evidencia de expansión lateral, grietas de tensión, subsidencia y volcanes de arena cerca de Playa Candilejas (66.9993614°O 10.6112343°N). Imágenes aéreas de Vantor.

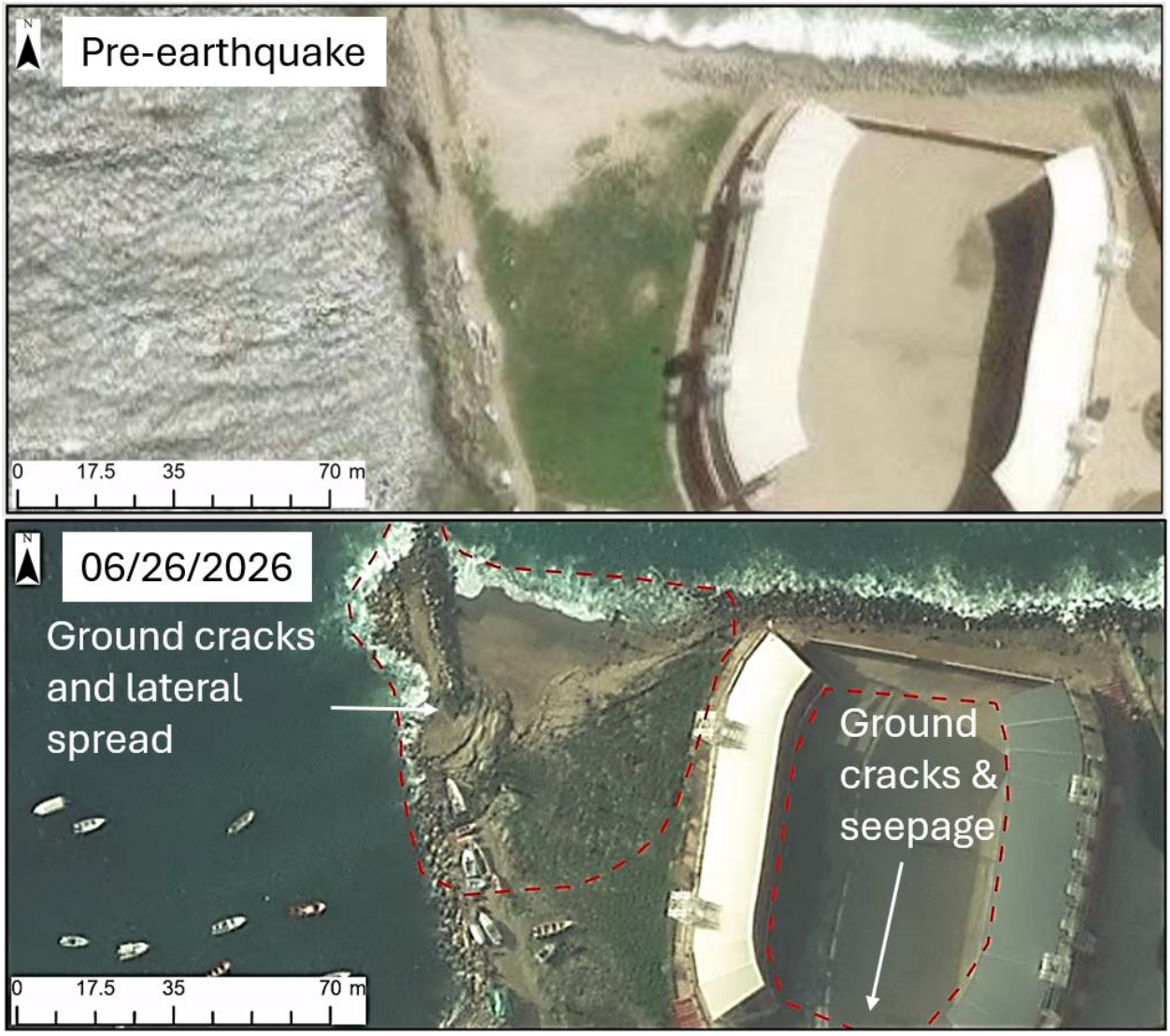


Figura 9-5. En el campo de fútbol de El Ceibo se observaron volcanes de arena y posibles filtraciones, y en la costa adyacente se observó una expansión lateral. (66.8913490°O 10.6098202°N). Imágenes aéreas de Vantor.

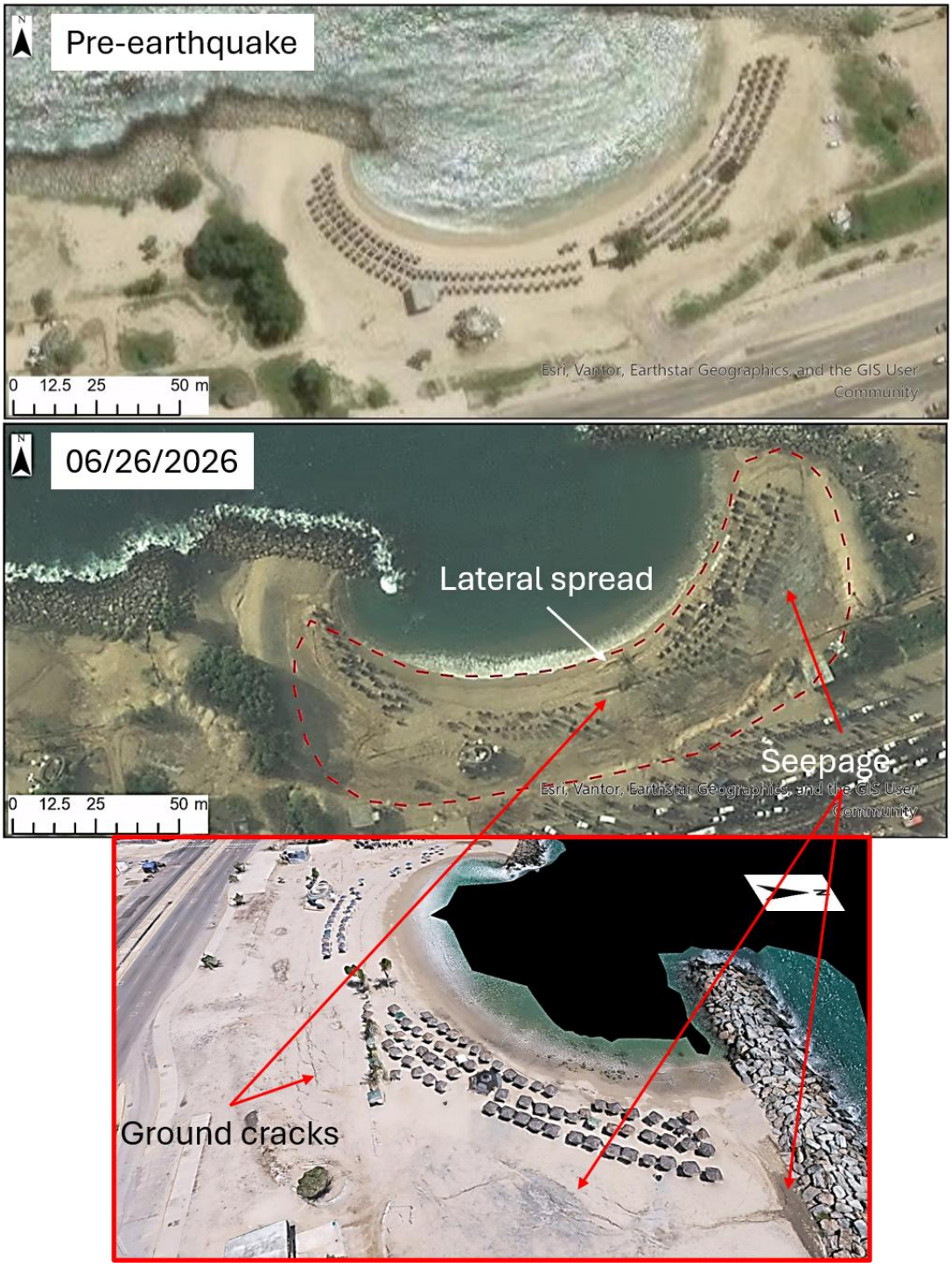


Figura 9-6. Evidencia de expansión lateral, grietas de tensión y filtraciones en Playa Ali Baba (66.8648683°O 10.6124094°N). Imágenes aéreas de Vantor e imágenes de dron (abajo) de SIGIS Venezuela.

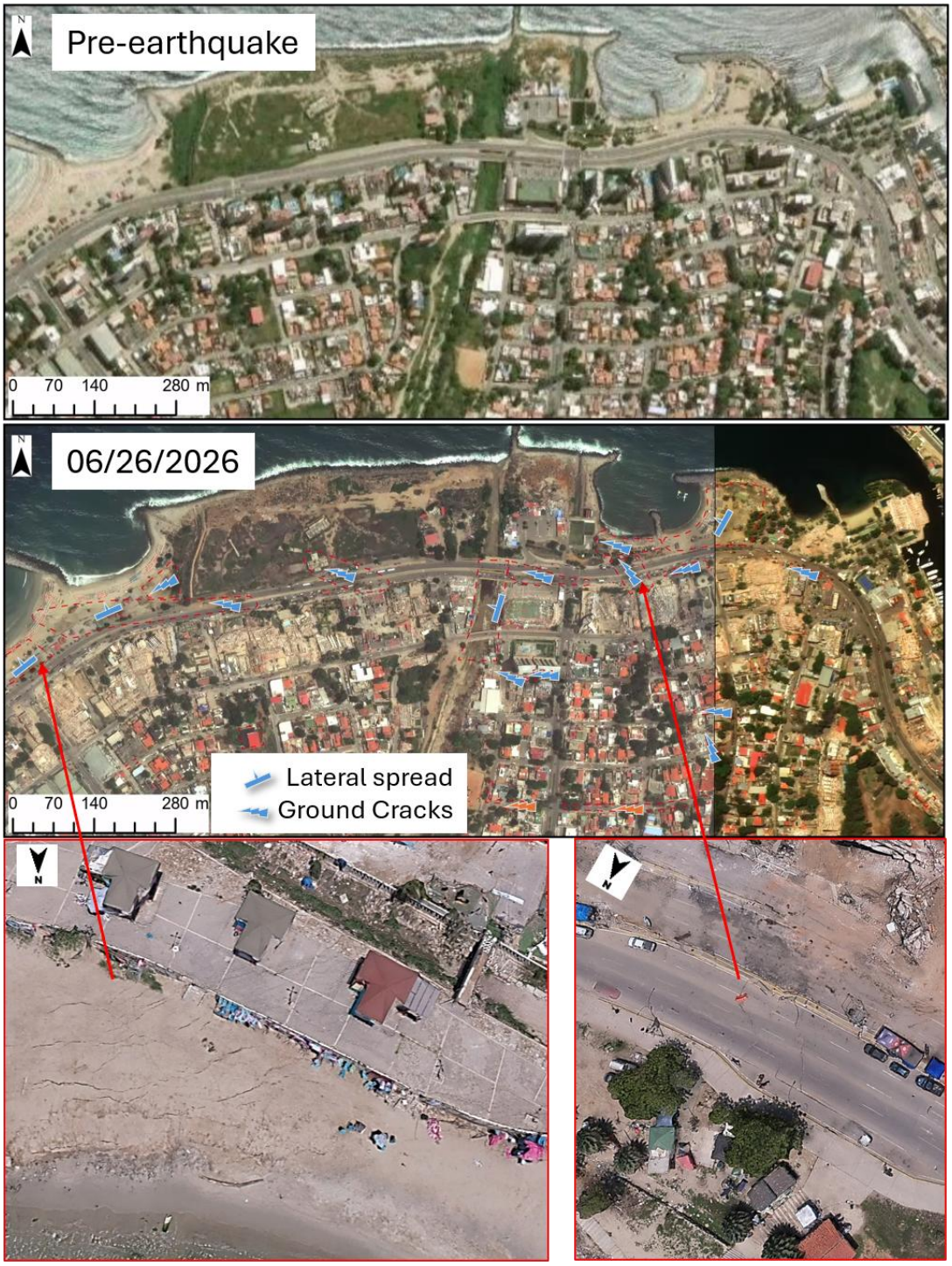


Figura 9-7. Alta concentración de evidencia de licuación a lo largo del frente costero de Caraballeda. (66.8487832°O 10.6194321°N). Imágenes aéreas de Vantor e imágenes de dron (abajo) de SIGIS Venezuela.

9.4.3 Sitios documentados en campo y cantidades medidas

La Tabla 9-4 enumera los sitios documentados por los equipos que contribuyeron a este capítulo; están representados en la Figura 9-2. La Tabla 9-5 consolida las mediciones cuantitativas disponibles de esos sitios, que son la materia prima para cualquier análisis retrospectivo futuro. Las coordenadas son las que han facilitado los equipos colaboradores y aún no se han cotejado de forma independiente con las imágenes.

Tabla 9-4. Sitios documentados sobre el terreno con evidencia de licuación o deformación del suelo inducida por la licuación. Las atribuciones son provisionales y requieren confirmación por parte de los equipos que las hicieron.

Sitio	Latitud, Longitud	Evidencia documentada	Fuente/fecha
Zona pavimentada del puerto deportivo de Playa Grande, Catia La Mar	10.611933, -67.021099	Agrietamiento de la superficie pavimentada subparalelo al borde del agua	Fotos no disponibles
Explanada de Playa Puerto Viejo, Catia La Mar	10.612137, -67.028492	Amplias grietas en el suelo y asentamiento diferencial de la explanada	Fotos no disponibles
Playa Grande Yachting Club, Catia La Mar	10.612361, -67.017788	Agrietamiento del pavimento que se extiende hacia la dársena del puerto deportivo; canchas de tenis agrietadas	Equipo de campo de GEER
Marina Deportiva, Catia La Mar	10.614745, -67.016373	Agrietamiento en el borde del muelle; extendiéndose hacia la dársena	Equipo de campo de GEER
Marina de Caraballeda	10.616464, -66.840234	Agrietamiento severo del terreno y desprendimiento lateral del relleno del puerto deportivo	R. Mata, E. Núñez et al., 14 de julio de 2026
AV. José María España en Doña Bárbara, Caraballeda	10.619014, -66.851115	Desprendimiento lateral a lo largo de la avenida costera; rotura del pavimento y desplazamiento de los brocales	Sociedad Venezolana de Geotecnia
Caraballeda, cerca del Centro Comercial IP5	10.619065, -66.850753	Grietas en el suelo de este a oeste de hasta 160 mm de ancho, a unos 225 m de la línea costera; cercas inclinadas	Equipo de campo de GEER, 19 de julio de 2026
Puente Macuto-Caraballeda, Río Camurí Chico	10.611552, -66.870685	Desplazamientos laterales de hasta 160 mm en los estribos; movimiento hacia el mar (hacia el norte)	Equipo de campo de GEER, 19 de julio de 2026

Sitio	Latitud, Longitud	Evidencia documentada	Fuente/fecha
Los Corales, Caraballeda	10.616146, -66.856982	Asentamiento del terreno de hasta 205 mm en relación con un edificio de una sola planta	E. Toro, 14 de julio de 2026
Terminal Catia La Mar	10.600856, -67.040550	Las losas del estacionamiento se desplazaron unos 270 mm; no se observaron volcanes de arena ni erosión en la playa posterior	E. Núñez, R. Mata et al., 10 de julio de 2026
Urbanismo Hugo Chávez, Catia La Mar	10.607685, -67.023763	Campaña de investigación del SPT (Sección 6.8)	L. Fargier et al.
Pueblo Ferriar, Yaracuy	10.465698, -68.561734	Fisura paralela al río de unos 380 m de longitud, a unos 3 m del cauce, a unos 4 km del epicentro del terremoto de magnitud 7.5	R. Mata, E. Núñez et al., 12 de julio de 2026
Municipio Veroes, Yaracuy (zona epicentral)	aún sin levantamiento	Profundas fisuras de un metro de altura en terrenos aluviales cultivados, filmadas y difundidas en redes sociales	Vídeo para redes sociales, agosto de 2026
Boca de Aroa, Falcón	Consulte el repositorio de StEER	Licuación con volcanes de arena; asentamiento de estructuras livianas; descripción de testigos presenciales de las eyecciones durante el temblor	Repositorio de medios de StEER (2026)
Costa central al este de Puerto Cabello	10.493206, -67.743070	Agrietamiento de la playa y de la zona posterior de la costa, paralelo a la orilla.	Redes sociales, geolocalizadas

Tabla 9-5. Mediciones cuantitativas disponibles en los sitios documentados en este capítulo.

Sitio	Cantidad	Valor	Fuente
Puente Macuto-Caraballeda, Río Camurí Chico	Desplazamiento lateral del estribo	hasta 160 mm	Equipo de campo de GEER, 19 de julio de 2026
Caraballeda, cerca del Centro Comercial IP5	Ancho de la grieta en el suelo	de hasta 160 mm	Equipo de campo de GEER, 19 de julio de 2026

Sitio	Cantidad	Valor	Fuente
Caraballeda, cerca del Centro Comercial IP5	Distancia de la grieta desde la línea costera	de unos 225 metros	Equipo de campo de GEER, 19 de julio de 2026
Los Corales, Caraballeda	Asentamiento diferencial del terreno en relación con estructura	de hasta 205 mm	E. Toro, 14 de julio de 2026
Terminal Catia La Mar	Desplazamiento de la losa del estacionamiento	de aproximadamente 270 mm	E. Núñez, R. Mata et al.
Marina de Caraballeda	Ancho de las grietas en el relleno del puerto deportivo	de varios cientos de milímetros (sin medir con cinta)	R. Mata, E. Núñez et al.
Pueblo Ferriar, Yaracuy	Longitud de la fisura / distancia al canal	de unos 380 m / unos 3 m	R. Mata, E. Núñez et al.

m: metro
mm: milímetro

La dispersión de Tabla 9-5 en relación con la magnitud del daño observado es en sí misma un hallazgo. Solo cuatro sitios en el conjunto de datos de GEER contienen una cantidad medida con cinta, y ninguno incluye un transecto de levantamiento del desplazamiento acumulado a lo largo de una expansión. El protocolo de medición para el reconocimiento —qué medir, con qué y en qué geometría— se analiza en la Sección 9.8.

9.5 Tipos de Evidencia

Esta sección agrupa las observaciones documentadas por tipo de evidencia para separar los patrones recurrentes en el campo de los detalles específicos de cada sitio. Las categorías distinguen entre agrietamiento, expansión lateral, asentamiento, deformación de las riberas de los ríos y evidencia ambigua o negativa, al tiempo que preservan la incertidumbre del mecanismo señalada en las secciones anteriores. Esta organización facilita la comparación entre diferentes sitios, destaca las mediciones más útiles para el desarrollo de futuros historiales de casos e identifica observaciones que no deben tratarse como licuación sin una confirmación adicional.

9.5.1 Agrietamiento y fisuras del terreno en zonas costeras bajas

Las grietas en el suelo perduran más que el eyectado y dominan los registros de campo, pero también son la clase más propensa a la ambigüedad en cuanto a su mecanismo. Las grietas que se conservan en esta sección se encuentran en terrenos bajos, a pocos metros de altura, cerca de una cara libre, en un entorno donde la licuación o el ablandamiento cíclico de los depósitos granulares saturados es la explicación más práctica.

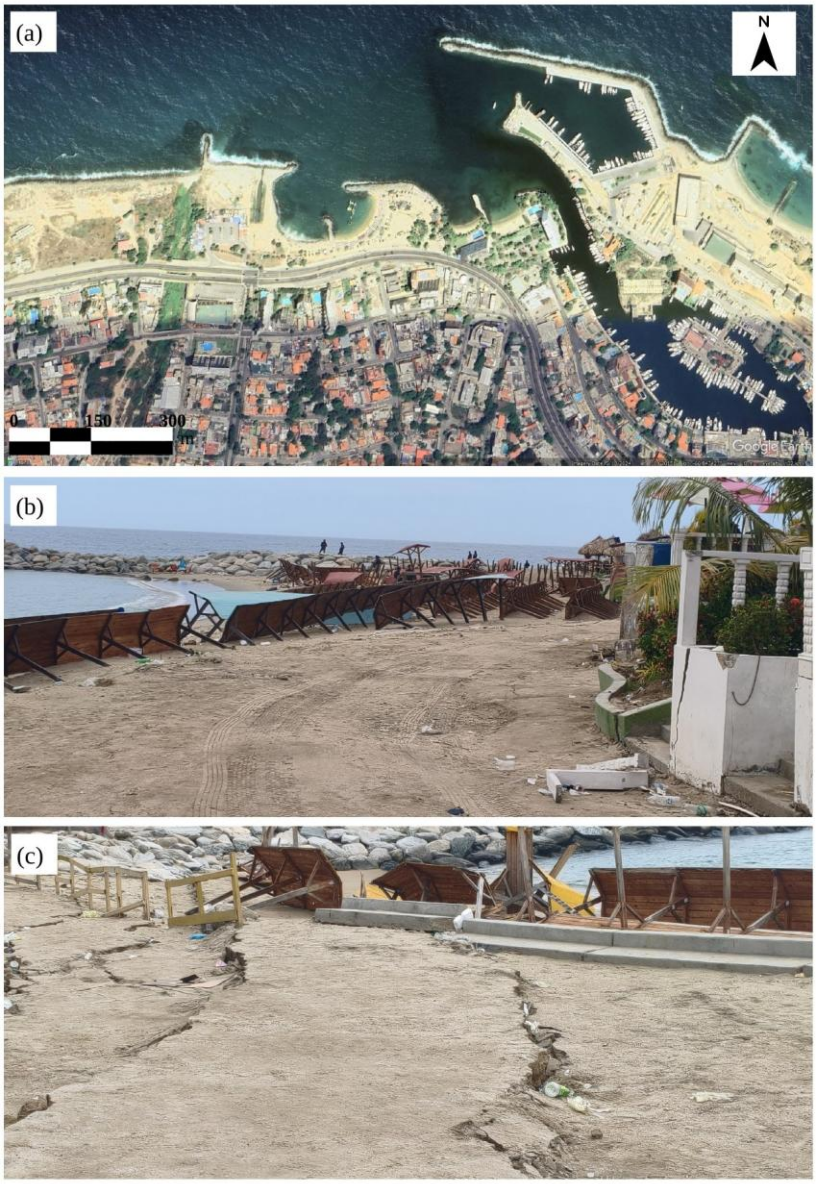


Figura 9-8. Playa El Yate, Caraballeda (10.619667°, -66.848800°): Relleno costero detrás de un montículo de escombros en el frente costero de Caraballeda, que muestra grietas generalizadas paralelas a la costa; (a) contexto del sitio; (b, c) vistas de la superficie del relleno agrietado. Fotografías cortesía de Sociedad Venezolana de Geotecnia.

9.5.2 Desprendimiento lateral de Marinas y rellenos costeros

Las marinas de Catia La Mar y Caraballeda ofrecen la geometría de cara libre más clara en la zona afectada, con rellenos colocados por medios hidráulicos o vertidos de forma suelta que mantienen una superficie de agua abierta de varios metros de altura. En todas las marinas visitadas se observa el mismo patrón: grietas casi paralelas a la orilla del agua, que se abren progresivamente hacia ella, con escalones verticales y hundimiento del pavimento detrás. No se hicieron levantamientos sobre

los desplazamientos, y su recuperación —altura de la cara libre, distancia desde la cara y apertura acumulada a lo largo de los transectos— es la medida perecedera más valiosa que aún queda por determinar en estos sitios.



Figura 9-9. Playa Grande Yachting Club, Catia La Mar (10.612361°, –67.017788°): (a) ruptura y desplazamiento hacia el mar del acceso pavimentado a lo largo del borde de la dársena; (b) canchas

de tenis agrietadas y levantadas, con cercas desalineadas; imágenes satelitales de Vantor c) antes y d) después de los terremotos. Fotografías cortesía del equipo de campo de GEER.

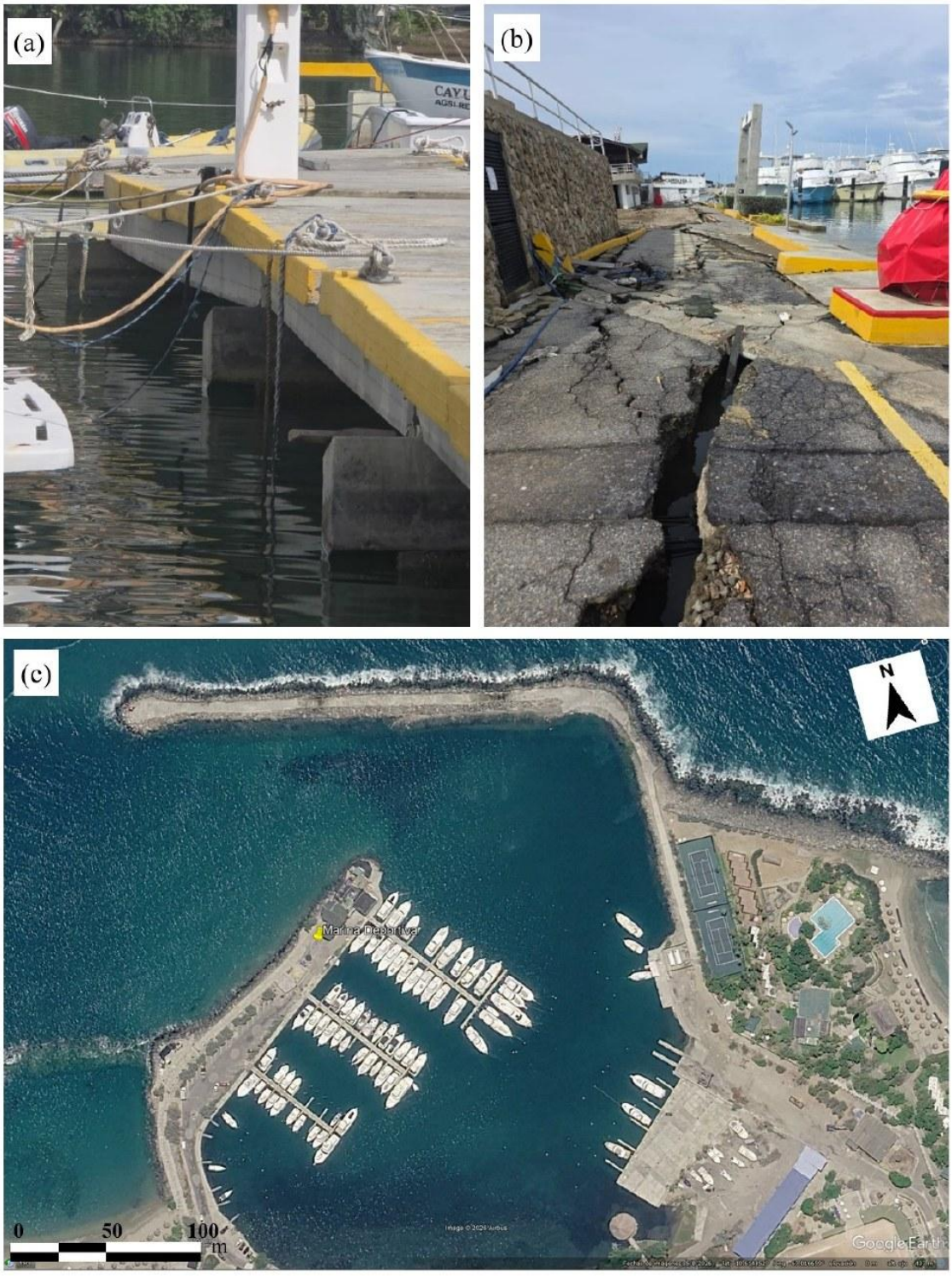


Figura 9-10. Marina Deportiva, Catia La Mar (10.614745°, –67.016373°): (a) desplazamiento del borde del muelle y conexiones del pontón; (b) agrietamiento de la superficie pavimentada del muelle

que se extiende subparalelo a la dársena; (c) ubicación en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 8 de mayo de 2026). Fotografías cortesía del equipo de campo de GEER.

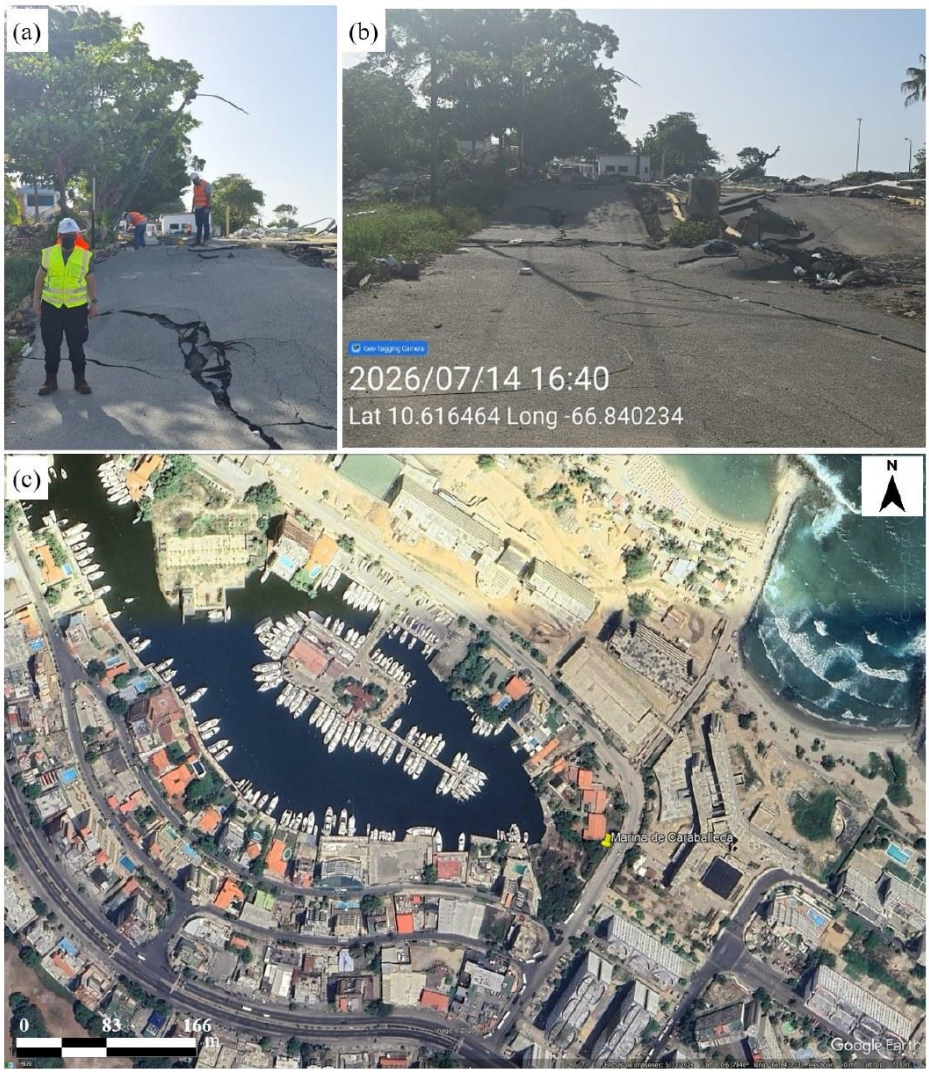


Figura 9-11. Marina de Caraballeda (10.616464°, –66.840234°): (a, b) agrietamiento severo, rotación de bloques y asentamiento de la superficie de la carretera y del relleno adyacente a la dársena, con anchos de grieta de varios cientos de milímetros; (c) ubicación en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 13 de mayo de 2024). Fotografías cortesía de R. Mata, E. Núñez et al., 14 de julio de 2026.

9.5.3 Desprendimiento lateral a lo largo del corredor vial de Caraballeda

Entre el centro comercial Doña Bárbara y el demolido Centro Comercial IP5, Av. El río José María España discurre aproximadamente entre 100 y 250 metros tierra adentro, y casi paralelo a la línea costera de Caraballeda. A lo largo de un tramo de varios cientos de metros, la carretera está interrumpida por grietas paralelas a la costa con desplazamiento del brocal, levantamiento del pavimento y asentamiento del terreno adyacente (Figura 9-12 y Figura 9-13). Se midieron grietas de hasta 160 mm de ancho a unos 225 m de la costa, con inclinación de rejas y muros en la misma

cuadra. La geometría —grietas paralelas a la costa que se ensanchan hacia la cara libre sobre una superficie en forma de abanico con una ligera pendiente— es característica del desprendimiento lateral más que del deterioro del pavimento provocado por los temblores, aunque en este caso ambos fenómenos se superponen.



Figura 9-12. Desprendimiento lateral a lo largo de la Av. José María España en la esquina este del centro comercial Doña Bárbara, Caraballeda (10.619014°, –66.851115°): (a) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 13 de mayo de 2024); (b) la avenida antes de los terremotos, en dirección al oeste; (c) la misma vista después de los terremotos, mostrando la rotura del pavimento y los brocales desplazados. Fuente: SVDG



Figura 9-13. Grietas en el suelo a unos 225 m tierra adentro de la costa de Caraballeda (10.619065°, –66.850753°): (a) ubicación en imágenes satelitales posteriores al evento (Vantor); (b) grieta en el suelo de este a oeste en dirección al sur hacia el Centro Comercial IP5 demolido; (c) daños extensos en el suelo e inclinación de las cercas adyacentes; (d) ancho de grieta medido de 160 mm; e) levantamiento del área circundante con dron (SiGIS Venezuela). Imágenes tomadas el 19 de julio de 2026.

9.5.4 Accesos a puentes y riberas de los ríos

En el cruce del río Camurí Chico, entre Macuto y Caraballeda, se midieron desplazamientos laterales de hasta 160 mm en los estribos del puente, el tablero aparentemente desplazado en dirección al mar, es decir, hacia el norte, en relación con los accesos (Figura 9-14). En las imágenes satelitales también se pudo observar el asentamiento de los terraplenes de acceso en este puente y en el cruce del río San Julián. El asentamiento de los terraplenes junto con el desplazamiento de los estribos, es la señal prevista de la expansión de los depósitos de la desembocadura del río hacia el canal y el mar, y estos dos cruces se encuentran entre los casos más manejables que ofrece el evento: la geometría de la cara libre es simple, es probable que los materiales de los terraplenes se puedan obtener de los registros de construcción y el desplazamiento está limitado por los desplazamientos medidos.



Figura 9-14. Puente Macuto–Caraballeda sobre el Río Camurí Chico (10.611552°, –66.870685°): (a) desplazamientos laterales observados en los estribos, con aparente desplazamiento de la estructura al norte hacia el mar; (b) desplazamiento medido de 160 mm en el borde sur del estribo oriental con respecto a la acera; (c) levantamiento del área circundante con dron (SiGIS Venezuela). Fotografías tomadas el 19 de julio de 2026.

9.5.5 Asentamientos y daños en los cimientos

En Los Corales, que está cerca de Caraballeda, la superficie del suelo alrededor de un edificio de una sola planta se asentó hasta 205 mm con respecto a la estructura, dejando al descubierto la parte inferior de la losa del suelo (Figura 9-15). El asentamiento se observó únicamente en la esquina suroeste, lo que implica una fuente superficial y lateralmente variable: ya sea una lente licuable limitada o el asentamiento de un relleno mal compactado. Este es el único sitio en el conjunto de datos actual con un asentamiento diferencial medido entre el suelo y la estructura, y vale la pena volver a visitarlo con información del subsuelo solo por esa razón.

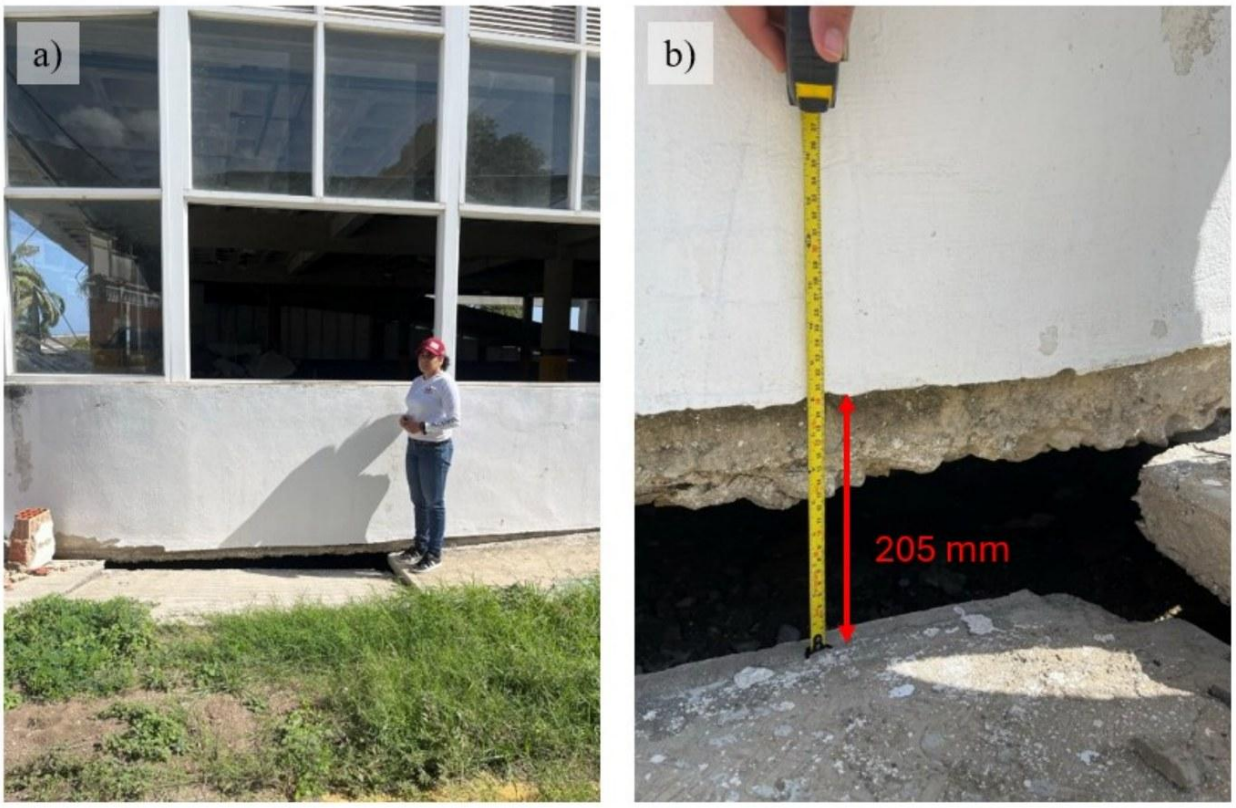


Figura 9-15. Los Corales, Caraballeda (10.616146°, –66.856982°): (a) asentamiento del terreno circundante en relación con un edificio de una sola planta; (b) asentamiento diferencial medido de 205 mm, observado solo en la esquina suroeste. Fotografías de E. Toro, 14 de julio de 2026.

En la terminal de autobuses de Catia La Mar, las losas del estacionamiento se desplazaron aproximadamente 270 mm. El equipo de inspección observó que la playa situada detrás del complejo no presentaba erosión, hundimientos ni volcanes de arena, y que un testigo presente en el sitio informó que el mar había retrocedido el día de los terremotos. Por lo tanto, el desplazamiento se reporta en este caso como un posible movimiento inducido por licuación que no se ha confirmado; el movimiento de bloques de las losas en una interfaz débil, o el asentamiento del relleno debajo de ellas, siguen coincidiendo igualmente con esta observación (Figura 9-16).

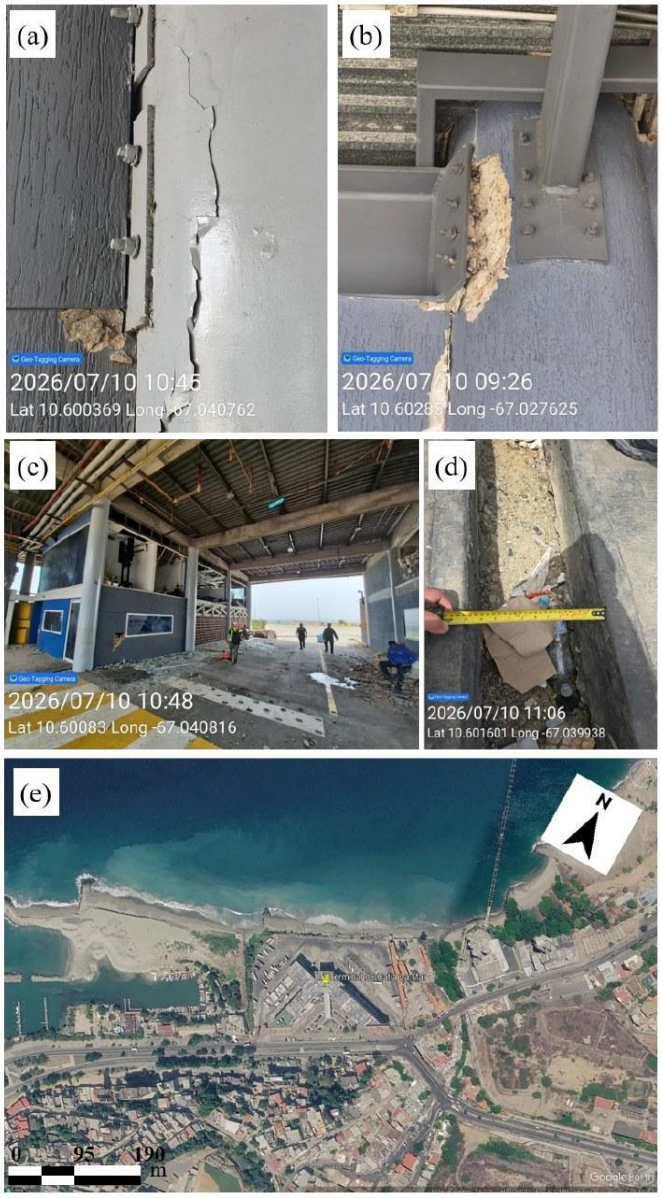


Figura 9-16. Terminal Catia La Mar (10.600856°, –67.040550°): (a–d) daños documentados el 10 de julio de 2026, incluyendo separación en las losas del estacionamiento, que se desplazaron aproximadamente 270 mm; (e) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 21 de diciembre de 2025). Fotografías cortesía de E. Núñez, R. Mata et al.

9.5.6 Área epicentral y costa central

A pocos kilómetros del epicentro del terremoto de magnitud 7.2, la evidencia es de otro tipo: fisuras largas y profundas en tierras bajas aluviales cultivadas. En Pueblo Ferriar, una fisura se extiende aproximadamente 380 m paralela al río, a lo sumo unos 3 m del cauce (Figura 9-17). Un vídeo del municipio Veroes (Figura 9-18) muestra fisuras de escala comparable, grietas abiertas de un metro o más de profundidad que atraviesan campos de forma continua, cuyas posiciones aún no han sido inspeccionadas. Estos representan la expansión de sedimentos en bancos impulsada

por la licuación, tal como la describe el Dr. Franck Audemard en este video https://www.instagram.com/p/DaRgq1aswOa/. Se encuentran a un día de viaje del epicentro del sismo de magnitud 7.2 y siguen siendo accesibles para la verificación sobre el terreno. En la costa central, el agrietamiento de la playa y de la faja costera posterior al este de Puerto Cabello (Figura 9-19) y la evidencia georreferenciada de Boca de Aroa completan un panorama de activación en arenas costeras sueltas a lo largo de al menos 130 km de costa.

Especial atención merece el material de Boca de Aroa. Un vídeo documentado y posteriormente geolocalizado en el repositorio multimedia de StEER muestra volcanes de arena y el asentamiento de estructuras ligeras en un asentamiento costero de baja altitud sobre arenas sueltas, y el residente entrevistado describe cómo el agua y los sedimentos subían a través de las grietas durante el temblor: un relato de primera mano de un fenómeno que rara vez se capta. El sitio no ha sido visitado por ningún equipo de ingeniería y aparece marcado en la Sección 9.8 como una prioridad para la verificación sobre el terreno.

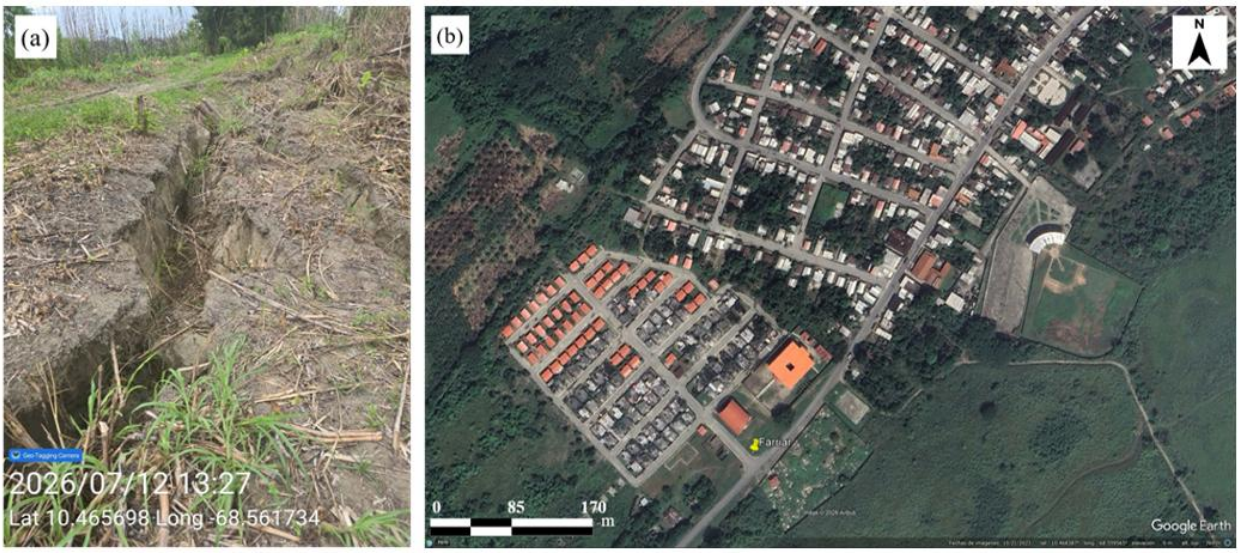


Figura 9-17. Pueblo Ferriar, Yaracuy (10.465698°, –68.561734°): (a) fisura paralela al río que se extiende aproximadamente 380 m, ubicada como máximo a unos 3 m del canal y aproximadamente a 4 km del epicentro de M7.5; (b) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 21 de octubre de 2023). Fotografía cortesía de R. Mata, E. Núñez et al., 12 de julio de 2026.



Figura 9-18. Fisuras en el suelo de tierras aluviales cultivadas, municipio Veroes, Yaracuy, en la zona epicentral del terremoto de magnitud 7.2: (a) fisura abierta profunda con paredes casi verticales; (b, c) sistema de fisuras que se extiende continuamente a través de los campos, con residentes locales para referencia de escala. Fotogramas extraídos de videos públicos de redes sociales (usuarios de TikTok @edgarjaviercast42 y @notiyaradigital); aún no se han determinado las ubicaciones exactas.



Figura 9-19. Costa central al este de Puerto Cabello (aproximadamente 10.493206°, –67.743070°): (a, b) agrietamiento de la playa y de la faja costera posterior paralela a la costa, detrás de un muro de contención; (c) sitio en imágenes aéreas previas al evento (Google Earth, 7 de diciembre de 2024). Imágenes procedentes de redes sociales, geolocalizadas por el equipo de reconocimiento.

9.5.7 Evidencia negativa

La manifestación superficial de la licuación permanece sin documentar debajo de la mayoría de los bloques de edificios altos que se derrumbaron en Catia La Mar, Maiquetía, Macuto y Caraballeda, a pesar de que esos bloques se asientan sobre los mismos depósitos costeros que los sitios de licuación confirmados a unos cientos de metros de distancia. Persisten las siguientes explicaciones: una unidad no licuable de gravas y cantos rodados en abanico, lo suficientemente gruesa como para suprimir la expresión superficial, pero que aún permite el ablandamiento en profundidad; licuación confinada a lentes de arena discretos dentro de una secuencia de abanico predominantemente gruesa; enmascaramiento de los materiales eyectados por escombros de construcción y por el tráfico de demolición y limpieza; o ausencia real del desencadenante, donde

el daño al edificio es atribuible a un movimiento telúrico amplificado de larga duración que actúa sobre marcos de concreto reforzado sensibles al desplazamiento con relleno de mampostería sin refuerzo. Solo la investigación del subsuelo en los sitios de colapso permitirá diferenciarlos, y constituye el aspecto de máxima prioridad en la Sección 9.8.

9.6 Observaciones de apoyo provenientes de la geodesia satelital

Los productos de correlación de subpíxeles de imágenes ópticas que cubren el corredor costero muestran patrones de desplazamiento coherentes de norte a sur y de este a oeste en la línea costera de Caraballeda, Catia La Mar y la plataforma del aeropuerto (Figura 8-5 a la Figura 8-8). Estos productos están dominados por el desplazamiento tectónico, los residuos de ortorrectificación y la decorrelación sobre superficies modificadas, por lo que no deben interpretarse directamente como desplazamiento por falla del terreno. Aquí se utilizan únicamente para señalar que las anomalías localizadas en la línea costera coinciden espacialmente con las geoformas de desprendimiento lateral cartografiadas, y que la señal de la plataforma del aeropuerto coincide con una deformación controlada estructuralmente. El reprocesamiento con control terrestre local podría convertir estos productos en estimaciones de desplazamiento de valor de ingeniería en los sitios con desplazamiento lateral por licuación y en una restricción independiente sobre la deformación del aeropuerto; ambas recomendaciones se incluyen en la Sección 9.8.

9.7 Interpretación preliminar

Se proponen las siguientes hipótesis de trabajo para su discusión dentro del equipo. Son provisionales y ninguna está respaldada aún por datos del subsuelo.

- La licuación y el desprendimiento lateral de cara libre se concentran en las unidades costeras bajas: arenas de playa y de la zona posterior a la costa, rellenos de marinas y puertos, y depósitos de desembocaduras de ríos a elevaciones de pocos metros, siempre a decenas o cientos de metros de agua abierta. Los desplazamientos medidos tienen una escala de decímetros.
- La manifestación está fuertemente condicionada por la geomorfología de la zona. Las superficies de abanico ricas en grava y cantos rodados, formadas en gran medida por los flujos de detritos de 1999 y anteriores, muestran poca o ninguna expresión en la superficie, incluso donde las condiciones del temblor y de la capa freática eran comparables a las de los sitios donde sí se expresaron.
- La demanda se refiere a un sitio cercano a la fuente con una gran ruptura de desplazamiento lateral, una larga duración efectiva a partir de los terremotos y amplificación dentro de una cuña sedimentaria acuífera, potente y blanda, en lugar de la modesta demanda de campo lejano sugerida por la distancia epicentral.
- Varias observaciones siguen siendo compatibles con más de un mecanismo. Se informa el desplazamiento de la losa de la Terminal Catia La Mar y el asentamiento de Los Corales manteniendo esa ambigüedad, en lugar de atribuirlos a la licuación por defecto.
- La relación entre la licuación y el derrumbe de edificios sigue sin resolverse. Nada en el conjunto de datos actual demuestra que el fallo del terreno sea un factor principal en

el derrumbe de edificios de gran altura, y nada descarta que el ablandamiento de los suelos de soporte haya sido un factor coadyuvante.

9.8 Una plataforma para la investigación: Casos históricos, necesidades de datos y agenda

Esta sección organiza las observaciones en los productos de investigación en los que pueden convertirse, de modo que las mediciones perecederas se registren mientras aún existen. La Tabla 9-6 enumera los potenciales casos históricos disponibles en el material de este capítulo, la pregunta que cada uno puede responder y los datos que aún faltan. Se llevó a cabo una primera campaña de Pruebas de Penetración Estándar (SPT, por sus siglas en inglés) en el complejo de viviendas Urbanismo Hugo Chávez en Catia La Mar (Figura 9-20), con sondeos distribuidos por todo el complejo; al momento de preparar este informe no estaban disponibles los registros y los recuentos de golpes y servirán de base para las evaluaciones que den lugar a las próximas pruebas.

Tabla 9-6. Potenciales casos históricos extraídos del material de este capítulo, y los datos necesarios para completarlos.

Caso histórico	Pregunta de investigación que puede responder	Todavía se requieren datos
Marina de Catia La Mar (Club Náutico, Marina Deportiva) y Marina de Caraballeda	Desplazamiento por desprendimiento lateral en función de la altura de la cara libre y del tipo de relleno	Transectos de levantamiento del ancho de las grietas y del desplazamiento acumulado; historial de colocación del relleno; pruebas de penetración de cono y perfiles de velocidad de ondas de corte
Corredor Av. José María España, Caraballeda	Expansión de una superficie en forma de abanico con pendiente suave a 100-250 metros de la cara libre	Transectos de desplazamiento perpendiculares a la línea costera; perfil del subsuelo; registros de pavimentación tal como fue construido
Accesos al puente de Camurí Chico y San Julián	Desprendimiento lateral del terraplén de acceso hacia los canales; interacción entre el estribo y el terraplén	Levantamiento de los desplazamientos y asentamientos de los terraplenes; geometría y materiales del terraplén; secciones transversales del canal
Asentamiento diferencial de Los Corales	Fuente de asentamiento superficial y lateralmente variable debajo de una estructura liviana	Pozos de sondeo con muestreo y pruebas de penetración estándar en la esquina asentada y lejos de ella; detalles de la cimentación; aguas subterráneas
Desplazamiento de la losa de la terminal de Catia La Mar	Discriminación entre licuación, deslizamiento de la interfaz y asentamiento del relleno	Perfil del subsuelo; levantamiento del estado de la losa y la subrasante; levantamiento de los desplazamientos

Caso histórico	Pregunta de investigación que puede responder	Todavía se requieren datos
Sistema de grietas en la plataforma del aeropuerto	Discriminación entre la deformación del terreno controlada estructuralmente y la licuación; la profundidad de la grieta como factor discriminante	Excavación de zanjas o estudios geofísicos a lo largo de la alineación de la grieta; reprocesamiento geodésico; catálogo sistemático de la profundidad de las grietas

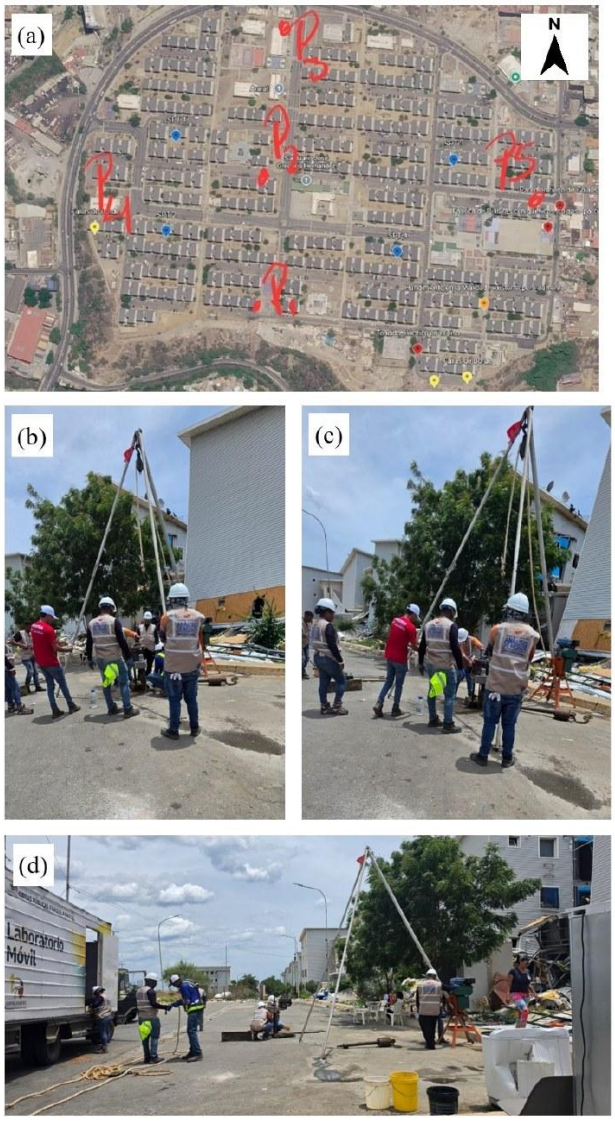


Figura 9-20. Investigación geotécnica de campo en el Urbanismo Hugo Chávez, Catia La Mar (aproximadamente 10.607685°, –67.023763°): (a) distribución de los puntos de investigación de SPT en todo el desarrollo; (b–d) operaciones de perforación y de la prueba de penetración estándar en el sitio. Se incorporarán los registros y los recuentos de golpes. Fotografías cortesía de L. Fargier et al.

Acciones recomendadas, en orden aproximado de prioridad y de caducidad:

- Documentación con calidad de levantamiento de las expansiones laterales mientras permanecen abiertas: altura de la cara libre, distancia desde la cara, anchura de la fisura y desplazamiento acumulado a lo largo de los transectos en los puertos deportivos y a lo largo del corredor de Caraballeda. Esta es la información que convierte estos sitios en historiales de casos útiles.
- La medición de la profundidad de las grietas como protocolo de campo rutinario, dado su valor para diferenciar la fisuración por licuación de la deformación más profunda controlada estructuralmente.
- El perfilado mediante prueba de penetración de cono (CPT) junto con la prueba SPT que ya se hizo en el Urbanismo Hugo Chávez, se extendió a los sitios de marinas y el corredor de la Av. José María España, para que los dos conjuntos de datos puedan calibrarse de forma cruzada para estos materiales de relleno y de abanico.
- Se hizo una investigación comparativa en los sitios del derrumbe y en los bloques adyacentes que tuvieron un buen desempeño, para comprobar directamente si las condiciones del terreno permitían diferenciarlos.
- Muestreo y clasificación de los materiales eyectados que sobrevivieron y de las arenas de origen, antes del retrabajo sobre las playas.
- Perfilado de la velocidad de las ondas de corte hasta al menos 30 m en sitios representativos y la reocupación de los puntos de medición de Romero et al. (2006) donde sea posible, para vincular los perfiles locales con el modelo de profundidad al basamento existente.
- Mediciones del nivel freático en cada punto de investigación, registradas con la fecha y el estado de la marea según la proximidad a la costa.
- Verificación sobre el terreno de los campos de fisuras de Veroes y de Boca de Aroa, ambos documentados actualmente solo mediante vídeos.
- Reprocesamiento de los productos de correlación óptica con el control en terreno local, para determinar si es posible obtener estimaciones de desplazamiento de utilidad para la ingeniería en los sitios de desplazamiento lateral por licuación.
- Obtención de estimaciones de demanda instrumental o macrosísmica para el corredor, sin las cuales ninguno de los historiales de casos desencadenantes puede llevar parámetros de carga defendibles.
- Coordinación con los demás grupos de autores que trabajan en este corredor, para que los sitios omitidos en este capítulo puedan consultarse de forma cruzada en lugar de duplicarse en el informe final.

9.9 Fuentes de datos y atribuciones

Las fotografías de campo reproducidas en este capítulo fueron aportadas por los equipos de campo de GEER, incluyendo a Francisco Pinto, Ramón Mata, Eduardo Núñez, Luis Fargier, Ernesto Toro,

Isabella Sanchez, y miembros de la SVDG. Los fotogramas de video de la Figura 9-18 provienen de publicaciones públicas en redes sociales. Se difundieron imágenes adicionales en las redes sociales, se compartieron a través de la red E2SCALA y el equipo de reconocimiento las geolocalizó comparándolas con imágenes de Google Earth previas al evento. El inventario de deformaciones del terreno se elaboró a partir de imágenes aéreas, tal como se describe en la Sección 7. Los productos de desplazamiento de la superficie son distribuidos por el USGS. Las atribuciones individuales se incluyen en las leyendas de las figuras y en la Tabla 9-4.

9.10 Referencias

Audemard, FA y De Santis, F. (1991). Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes [Levantamiento de estructuras de licuación inducidas por terremotos moderados recientes]. IAEG-AIGI, 44: 5 – 16.

Rodríguez, L.M., Audemard, F.A. y Rodríguez, J.A. (2006). Casos históricos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela*, **21**(3), 5–32.

Romero, M., Cragno, A., Schmitz, M. y Ambrosio, R. (2006). Caracterización de suelos con métodos geofísicos en La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, estado Vargas, Venezuela. Boletín Técnico IMME, 44(1), 16–29.

StEER (2026). June 24 Venezuela Earthquake Sequence: Preliminary Virtual Reconnaissance Report (PVRR) and media repository [Informe preliminar de reconocimiento virtual (PVRR) y repositorio de medios]. DesignSafe-CI project PRJ-6380, doi:10.17603/ds2-yd90-gt80. Publicado el 30 de julio de 2026.

NZSEE Learning from Earthquakes (2026). VERT Venezuela June ’26 Significant Event Report, Versión 1.0, 2 de julio de 2026. New Zealand Society for Earthquake Engineering.

Wieczorek, G.F., Larsen, M.C., Eaton, L.S., Morgan, B.A. y Blair, J.L. (2001). Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation [Peligros de flujos de detritos e inundaciones asociados con la tormenta de diciembre de 1999 en la costa de Venezuela y estrategias de mitigación]. U.S. Geological Survey Open-File Report 01-0144.

Zhu, J., Baise, L.G. y Thompson, E.M. (2017). An updated geospatial liquefaction model for global application [Un modelo geoespacial actualizado de licuación para aplicación global]. Bulletin of the Seismological Society of America, 107(3), 1365–1385, doi:10.1785/0120160198.

U.S. Geological Survey (2026). M 7.5 — Venezuela, event us6000t7zp: ShakeMap and finite-fault products. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp

10. ESTABILIDAD S Í SMICA DE TALUDES Y PELIGROS COMPUESTOS

Tabla 10-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Lorne Arnold	Profesor asistente en la Universidad de Washington Tacoma, EE. UU.
Patricia Varela	Geóloga sénior, Geosyntec Consultants, Inc.
Karol Sánchez	Estudiante de posgrado y asistente de investigación en la Universidad Estatal de Carolina del Norte, EE. UU.
Celso Castro-Bolinaga	Profesor asociado en la Universidad Estatal de Carolina del Norte, EE. UU.
Eduardo García	Universidad Central de Venezuela

Los terremotos del 24 de junio de 2026 provocaron extensos deslizamientos de tierra en la Cordillera de la Costa al norte de Caracas. Se identificaron más de 650 deslizamientos de tierra o zonas afectadas por deslizamientos a partir de imágenes satelitales posteriores al evento, complementadas con fotografías de campo proporcionadas por los equipos de campo de GEER. Como se muestra en la Figura 10-1, se revisaron imágenes en dos de las varias áreas de interés donde había imágenes disponibles. Los mapas de fallas del terreno del USGS y la evaluación preliminar de las áreas afectadas por los terremotos (Figura 10-2) se utilizaron para priorizar las áreas de revisión. Las áreas A y B presentan concentraciones de deslizamientos de tierra importantes o extendidos e impactos en carreteras, según la evaluación preliminar del USGS. Además, la Zona A tiene una alta densidad de población en Caracas, Catia La Mar y Caraballeda.

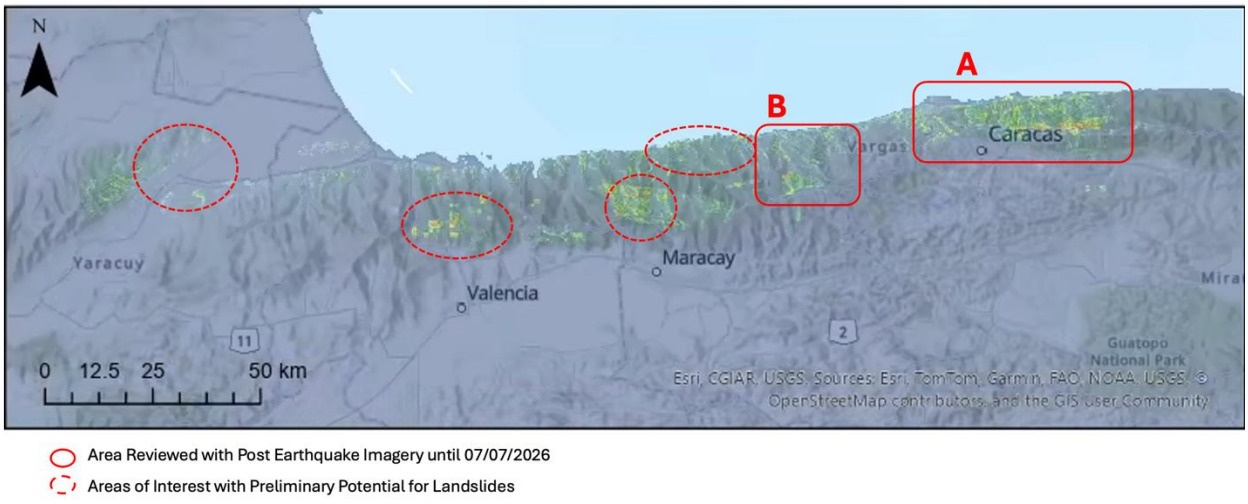


Figura 10-1. Áreas revisadas (A y B, líneas continuas) y áreas de interés por actividad de deslizamientos de tierra (líneas discontinuas). Coloración de fondo a partir de las probabilidades del modelo de deslizamientos de tierra del USGS (Nowicki Jessee et al., 2018) con una resolución de ~250 m. El color azul indica menor susceptibilidad a los deslizamientos y el color rojo indica mayor susceptibilidad.

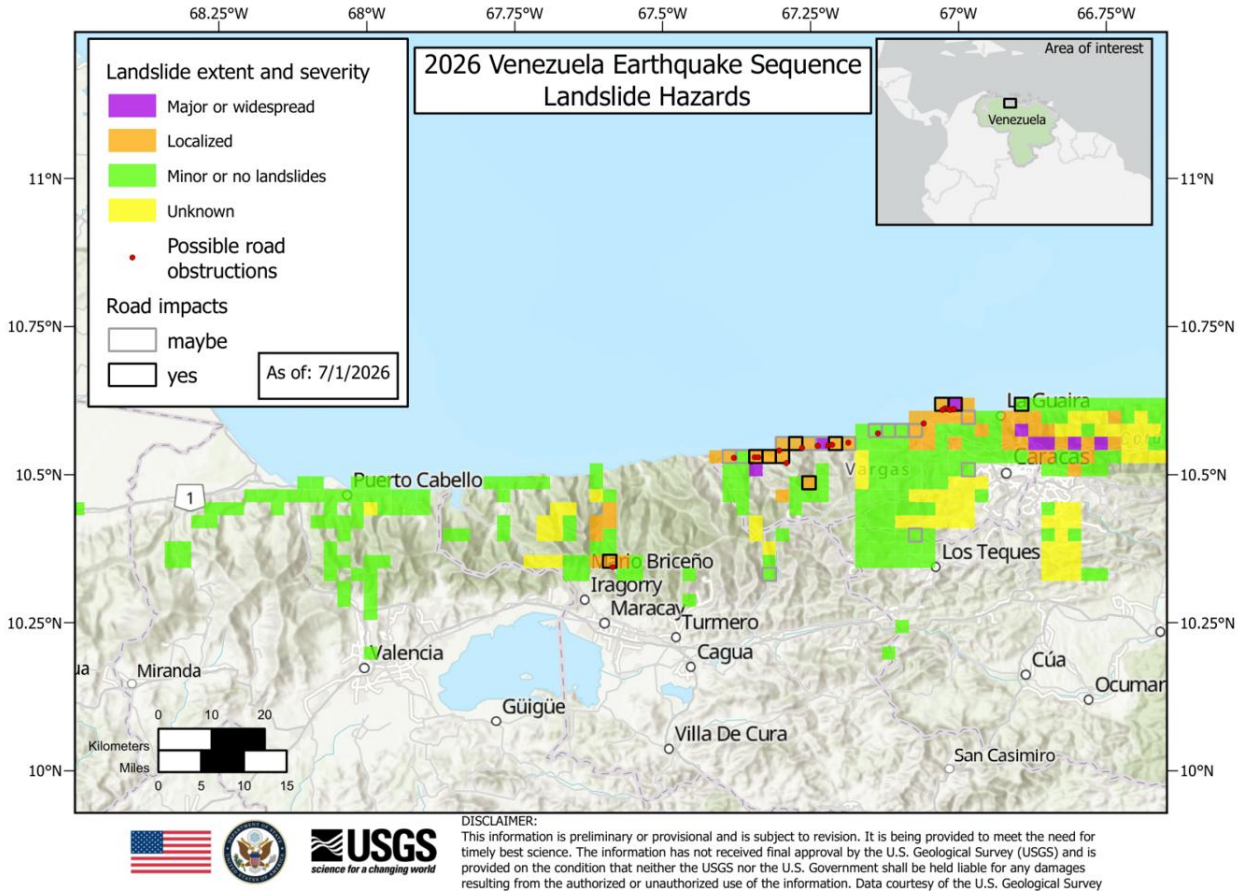


Figura 10-2. Evaluación de la extensión y gravedad de deslizamientos de tierra mediante imágenes del USGS (al 01/07/26, 4:30 PM MDT), pendiente por verificar. El color se basa en la evaluación remota del USGS. El impacto del deslizamiento de tierra se clasifica como "Desconocido" (amarillo), "Menor o nulo" (verde), "Localizado" (naranja) o "Importante o extendido" (púrpura). Las zonas donde la carretera se ve afectada por deslizamientos de tierra están delimitadas en gris ("posiblemente" afectadas) y en negro ("sí", afectadas). Los posibles puntos de obstrucción en carretera están representados por un punto rojo. Cada recuadro es una celda de cuadrícula de 2.5 km x 2.5 km. Las celdas de la cuadrícula que no tienen un color indicado aún no se han evaluado. Recuperado de https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards/science/2026-venezuela-sequence-earthquake-triggered-landslide-hazards el 27 de julio de 2026.

La distribución de los deslizamientos de tierra observados en las áreas A y B (véase la Figura 10-1) se muestra en la Figura 10-3. Los deslizamientos de tierra en el Área A se marcaron con polígonos. Los deslizamientos de tierra en el Área B se marcaron con líneas de traza. Ambos conjuntos de datos están disponibles en DesignSafe. La mayor parte de la actividad de deslizamientos de tierra observada se concentró en el terreno montañoso entre Caracas y la costa, particularmente en las laderas inmediatamente al sur de Macuto y Caraballeda.

Los deslizamientos de tierra observados fueron típicamente pequeños y superficiales, afectando al suelo residual y al coluvión, con deslizamientos ocasionales de mayor tamaño y áreas donde deslizamientos históricos se reactivaron.

Este inventario es preliminar. Las zonas afectadas por los deslizamientos de tierra se delimitaron mediante la interpretación visual de imágenes satelitales posteriores al evento y no han sido sometidas a un control de calidad formal ni a una verificación en el terreno. Las zonas de origen y las trayectorias de recorrido coalescentes no se discretizaron de manera uniforme, y es probable que los deslizamientos pequeños o los que quedan ocultos por la vegetación no se hayan contabilizado totalmente. Por lo tanto, los recuentos y las áreas que se informan aquí deben interpretarse como una caracterización del orden de magnitud de los deslizamientos de tierra cosísmicos, en lugar de un inventario verificado.

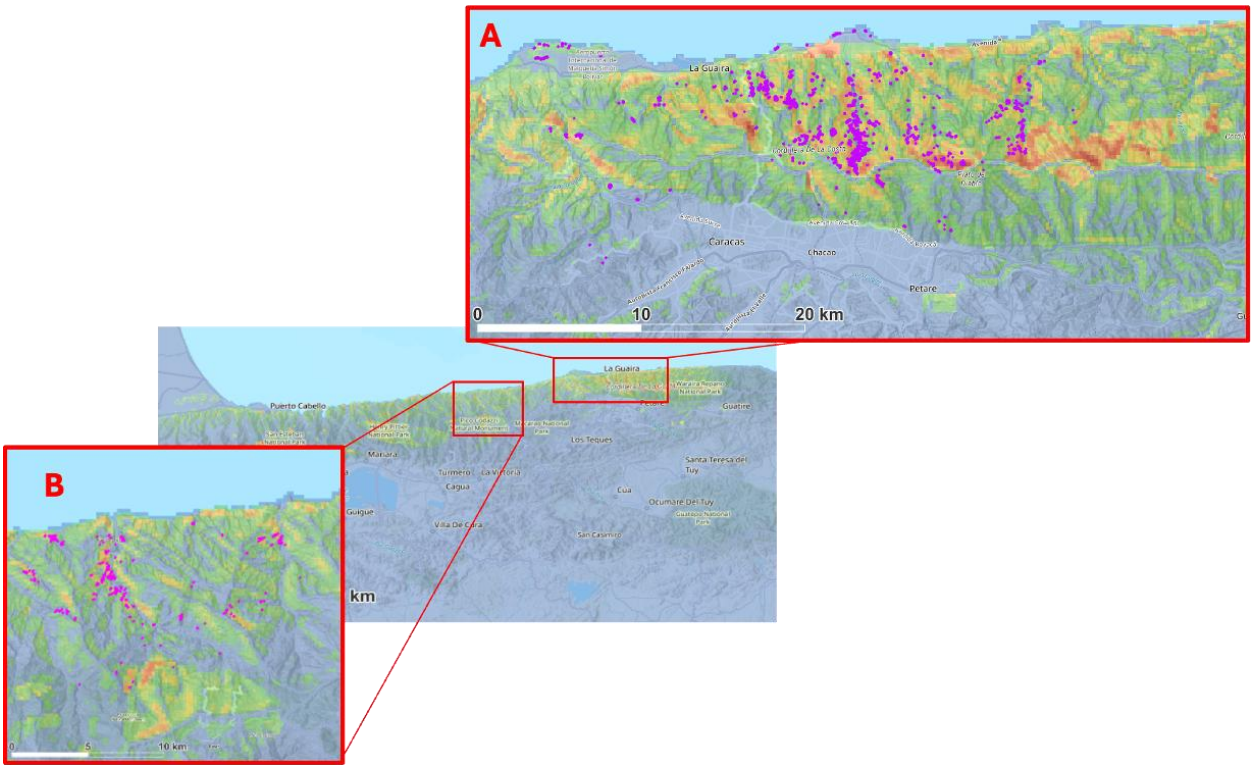


Figura 10-3. Deslizamientos de tierra cartografiados identificados a partir de imágenes satelitales en las áreas A y B. Color de fondo según las probabilidades del modelo de deslizamientos de tierra del USGS (Nowicki Jessee et al., 2018) con una resolución de ~250 m. El color azul indica menor susceptibilidad y el color rojo indica mayor susceptibilidad. Los puntos magenta indican la ubicación de los deslizamientos de tierra provocados por el terremoto del 24 de junio, según los mapas elaborados por el equipo GEER a partir de imágenes satelitales tomadas antes y después del sismo.

10.1 Antecedentes de la actividad de deslizamientos de tierra

La Cordillera de la Costa se eleva abruptamente desde el Mar Caribe, alcanzando altitudes superiores a los 2.000 m en un radio de 5 a 20 km de la costa. Los suelos de estas montañas tienen generalmente un espesor de 0.5 a 3 m (Salcedo, 2000).

La cordillera sufre regularmente pequeños deslizamientos de tierra que proporcionan una tasa base de deposición coluvial. La evidencia de esta actividad de fondo fue evidente en las imágenes previas al evento: durante el mapeo, se encontró que características que se parecían a deslizamientos de tierra cosísmicos recientes en las imágenes posteriores al evento estaban presentes en varios casos antes de los terremotos y fueron excluidas del inventario (ver por ejemplo la Figura 10-4). Esta actividad de fondo no se cuantificó y no se dispone de datos publicados sobre las tasas de deslizamientos de tierra de fondo para la región; sin embargo, según las observaciones, los deslizamientos de tierra cosísmicos fueron sustancialmente más extensos que la actividad previa al evento visible en las imágenes. Algunas zonas que antes sufrían deslizamientos experimentaron una reactivación. En el caso de deslizamientos superficiales preexistentes, la reactivación se hizo evidente por la pérdida de vegetación en la zona de escarpe y por el cambio de color y aspecto de la superficie del deslizamiento existente.

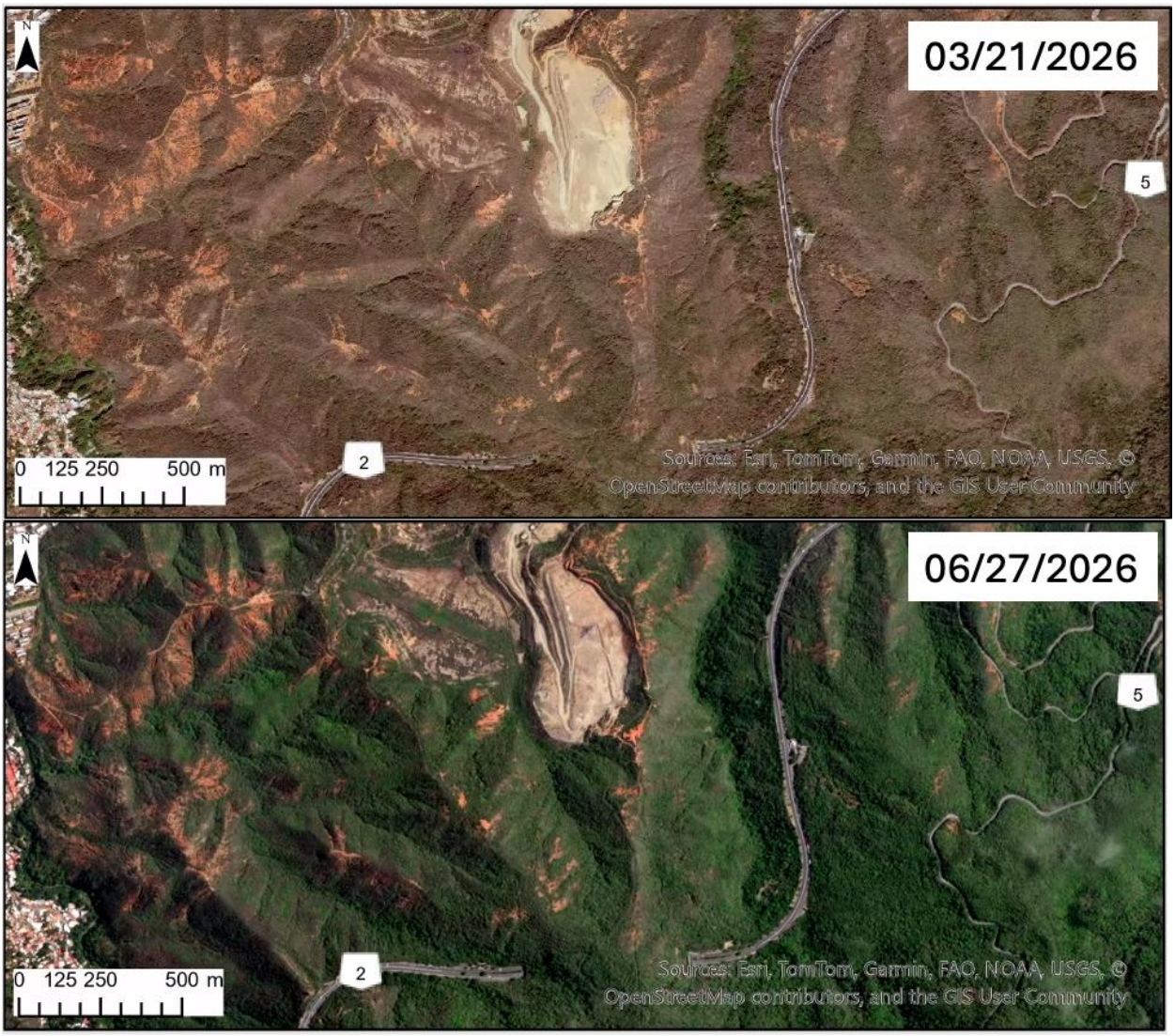


Figura 10-4. Área de ejemplo (10.5824865°, −67.0005823°) con numerosos deslizamientos observables en las imágenes posteriores al terremoto que también son visibles en las imágenes anteriores al

terremoto. Los deslizamientos de tierra preexistentes no se cartografiaron a menos que se observaran indicios de reactivación. Imágenes aéreas de Vantor.

10.2 Tendencias

Los deslizamientos de tierra cartografiados muestran una marcada orientación hacia el noreste en la dirección de la pendiente del terreno. La Figura 10-5 presenta la distribución de deslizamientos de tierra cartografiadas por el equipo GEER según la orientación promedio de la ladera (calculada a partir de un modelo de elevación digital con una resolución de 30 m), con cada pétalo apilado según la pendiente máxima del terreno. El componente hacia el este de la tendencia es consistente con un efecto de asimetría, que se espera cerca de una falla con desplazamiento permanente tectónico hacia el oeste (Garini et al., 2011). La componente norte de la tendencia es consistente con un efecto de atenuación: el movimiento del suelo tenderá a ser más fuerte en el lado norte de la Cordillera de la Costa, que está más cerca de la falla. Esta observación también coincide con la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra; hay más deslizamientos al norte de la cima de El Ávila, donde se ve la mayor parte del color rojo. Esta es también la ladera de la montaña donde se han producido anteriormente flujos de detritos.

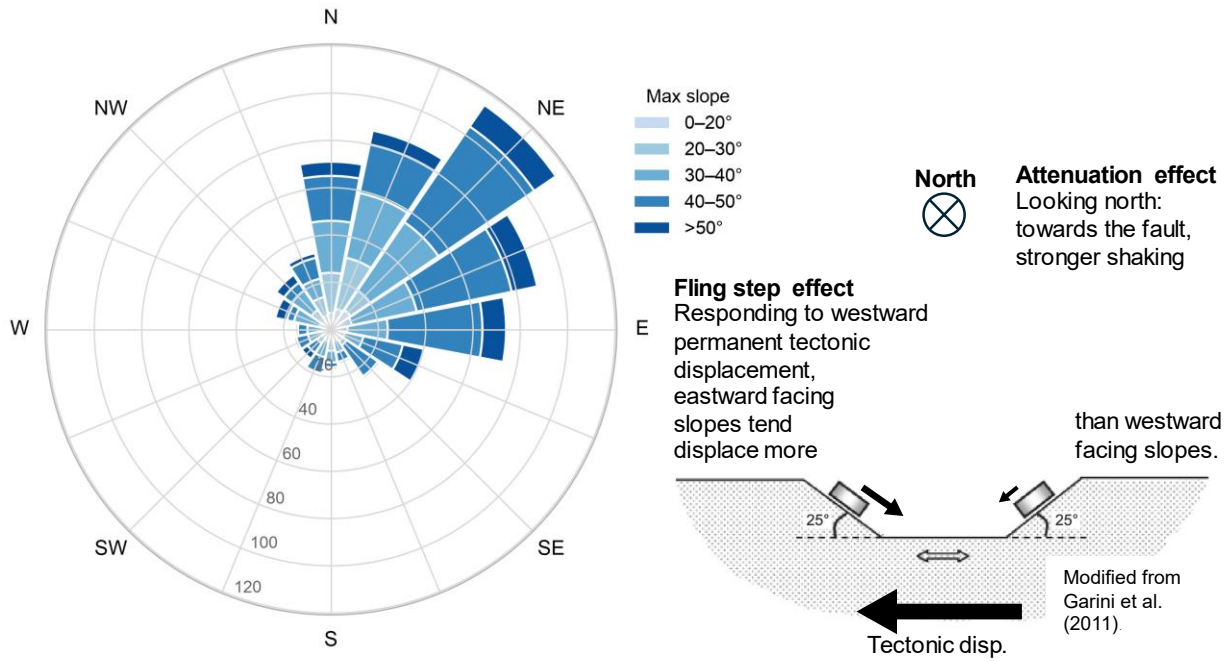


Figura 10-5. Recuento de deslizamientos de tierra observados en las áreas de imágenes A y B según la orientación de la ladera. Los colores indican el ángulo máximo de la ladera calculado en base a un modelo de elevación digital con una resolución de 30 metros. La tendencia hacia el este refleja un efecto de asimetría. La tendencia hacia el norte refleja la posición de la Cordillera de la Costa en relación con la falla.

10.3 Intersección con los aludes torrenciales de diciembre de 1999

Del 1 al 17 de diciembre de 1999, un evento hidrometeorológico de gran magnitud produjo un total de 1.207 mm de lluvia (medidos en la estación hidrometeorológica de Maiquetía) a lo largo de la Cordillera de la Costa al norte de Caracas, con una cantidad excepcionalmente alta de 911

mm de lluvia (~75%) registrada entre el 14 y el 16 de diciembre (López, 2020). El evento hidrometeorológico desencadenó miles de deslizamientos de tierra superficiales (deslaves) en las primeras horas del 16 de diciembre, lo que a su vez provocó aludes torrenciales que impactaron las comunidades costeras ubicadas en los abanicos aluviales en la base de la montaña (Figura 10-6), destruyendo propiedades e infraestructura, además de causar la muerte de más de 15.000 personas (Larsen et al., 2001; Larsen et al., 2006). Se estima que se depositaron 20 millones de metros cúbicos de sedimento en los abanicos aluviales (López, 2020), con un tamaño de sedimento que varió desde arcilla y arena hasta grandes peñones (Larsen et al., 2001), y depósitos de sedimento que variaron entre 2 y 4 metros de espesor (Larsen y Wieczorek, 2006). Como se muestra en la Figura 10-7, las condiciones posteriores al evento de diciembre de 1999 se caracterizaron por deslizamientos de tierra densamente distribuidos y remoción de vegetación en las laderas norte de la montaña, acompañados de plumas de sedimento suspendidos en la costa causadas por material transportado al mar durante el evento (Larsen et al., 2001; Rodríguez et al., 2001; Urbani, 2000). El objetivo de esta sección es esclarecer la posible relación entre aludes torrenciales de diciembre de 1999 y los terremotos de 2026. López (2020) ofrece una descripción detallada de los aludes torrenciales de diciembre de 1999, incluyendo la implementación de medidas de mitigación posteriores al evento.

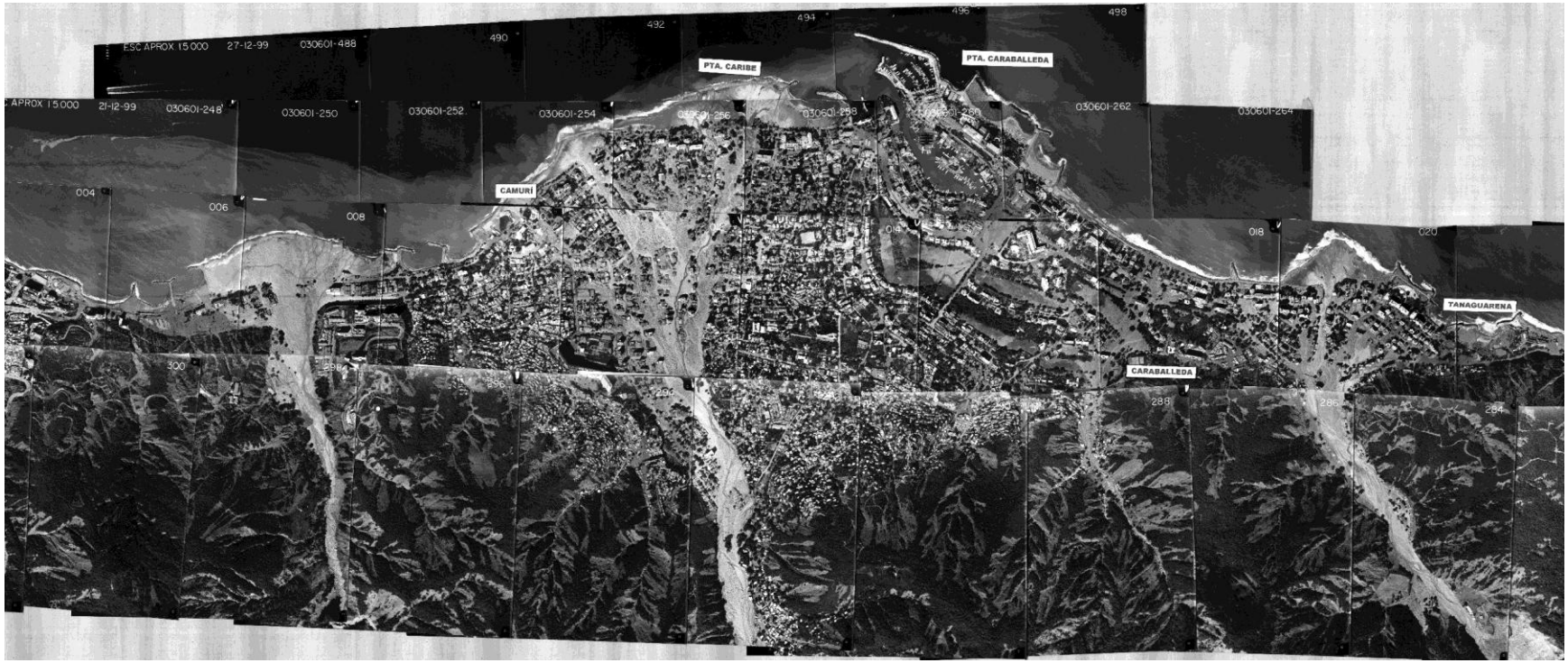


Figura 10-6. Ejemplo de los impactos causados por aludes torrenciales de diciembre de 1999, que muestra específicamente los sedimentos depositados a lo largo de los abanicos aluviales alrededor de Caraballeda. Fuente: Cartografía Nacional mosaicos de fotografías aéreas proporcionadas por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (IMF-UCV).

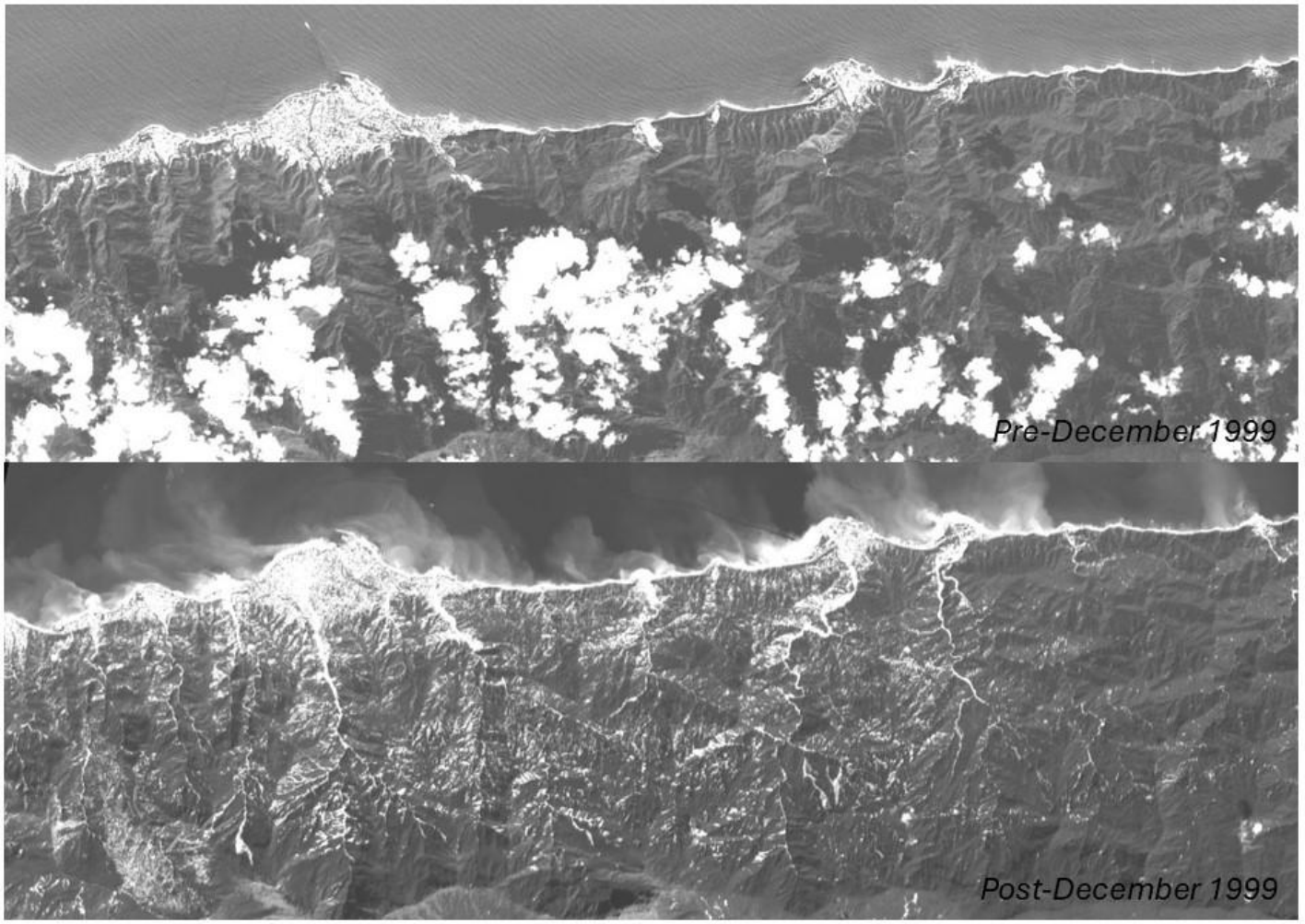


Figura 10-7. Imágenes satelitales que comparan las condiciones previas (arriba) y posteriores (abajo) al evento de aludes torrenciales de diciembre de 1999, mostrando las cicatrices generadas por deslizamientos de tierra y eliminación de vegetación en las laderas de la montaña, desde la cuenca de Alcantarilla en el oeste hasta la cuenca de Anare en el este. Fuente: Imágenes satelitales proporcionadas por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (IMF-UCV).

La extensión de los depósitos de sedimentos por cuenca tras los eventos de diciembre de 1999 se cartografió en relación con la ubicación de las estructuras afectadas por los terremotos de 2026, como se muestra en la Figura 10-8. En este documento, los datos sobre las estructuras afectadas por el terremoto se obtuvieron de crisisvenezuela.org (último acceso el 30 de junio de 2026), que representan una combinación entre colapso total, daños graves, daños parciales y daños leves. Además, la delimitación de las cuencas hidrográficas a lo largo de la costa se realizó utilizando un modelo de elevación digital (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM). El modelo de elevación digital tiene una resolución espacial aproximada de 30 m, utiliza un datum horizontal WGS 84 y las elevaciones están referenciadas al datum vertical EGM96. El archivo GeoTIFF se descargó del Geoportal Provita (EROS Center, 2018; Provita, s.f.). Para la delimitación de las cuencas hidrográficas, se incluyó el área correspondiente al abanico aluvial utilizando la identificación de cuencas hidrográficas presentada en López y Pérez-Hernández (2010, Fig. 2, p. 30). La delimitación espacial de los depósitos de sedimentos se llevó a cabo mediante la integración de tres fuentes de datos principales. En primer lugar, se utilizó el Mapa 1 del Informe de Archivo Abierto 01-144 del USGS (Wieczorek et al., 2001). Este mapa muestra la extensión de los flujos de detritos en determinados cauces fluviales, basándose en la interpretación de fotografías aéreas y estudios de campo. Cabe señalar que este mapa abarca principalmente los cauces fluviales visitados por el equipo USGS-MARN y, por lo tanto, no constituye un inventario completo de todas las cuencas hidrográficas afectadas. En segundo lugar, se utilizaron los mapas de distribución de sedimentos y de desbordamiento de lodo y rocas elaborados por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) después del evento, tal como se cita en el informe final del Proyecto Ávila (IMF-UCV, 2002). Por último, para las cuencas de Alcantarilla y Germán, se creó una aproximación visual basada en mosaicos de fotografías aéreas proporcionados por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (IMF-UCV).

Los resultados mostrados en la Figura 10-8 indican que hubo una superposición general entre los depósitos de sedimentos y la distribución espacial de las estructuras afectadas durante los terremotos de 2026 (crisisvenezuela.org), con un grado de superposición que depende de las características de la cuenca hidrográfica. Por ejemplo, se observó una alta superposición en la cuenca de Cerro Grande, que presentó una huella de depósito de sedimentos relativamente estrecha en su base, mientras que se observó una superposición parcial en la cuenca de San Julián, que presentó una huella de depósito de sedimentos más amplia. Cabe señalar que las cuencas hidrográficas ubicadas en la parte occidental del estado no se incluyeron porque los impactos del evento de 1999 no fueron tan pronunciados. Un estudio sobre la prevención de riesgos hidrometeorológicos y geodinámicos realizado en el marco del Programa de Prevención de Desastres y Reconstrucción Social (PREDERES) en las cuencas de Mamo, Tacagua y La Zorra indicó que las pendientes medias relativamente bajas de los ríos Mamo y Tacagua (del orden del 5-7%) probablemente contribuyeron a que el evento fuera menos catastrófico. Además, aunque Catia La Mar también experimentó inundaciones, impactos geomorfológicos y daños significativos, los depósitos de sedimentos no contenían grandes rocas y acumulaciones de material, las cuales fueron ampliamente observadas en las cuencas más gravemente afectadas en la parte oriental del estado (IMF-UCV y DH-UCV, 2007).

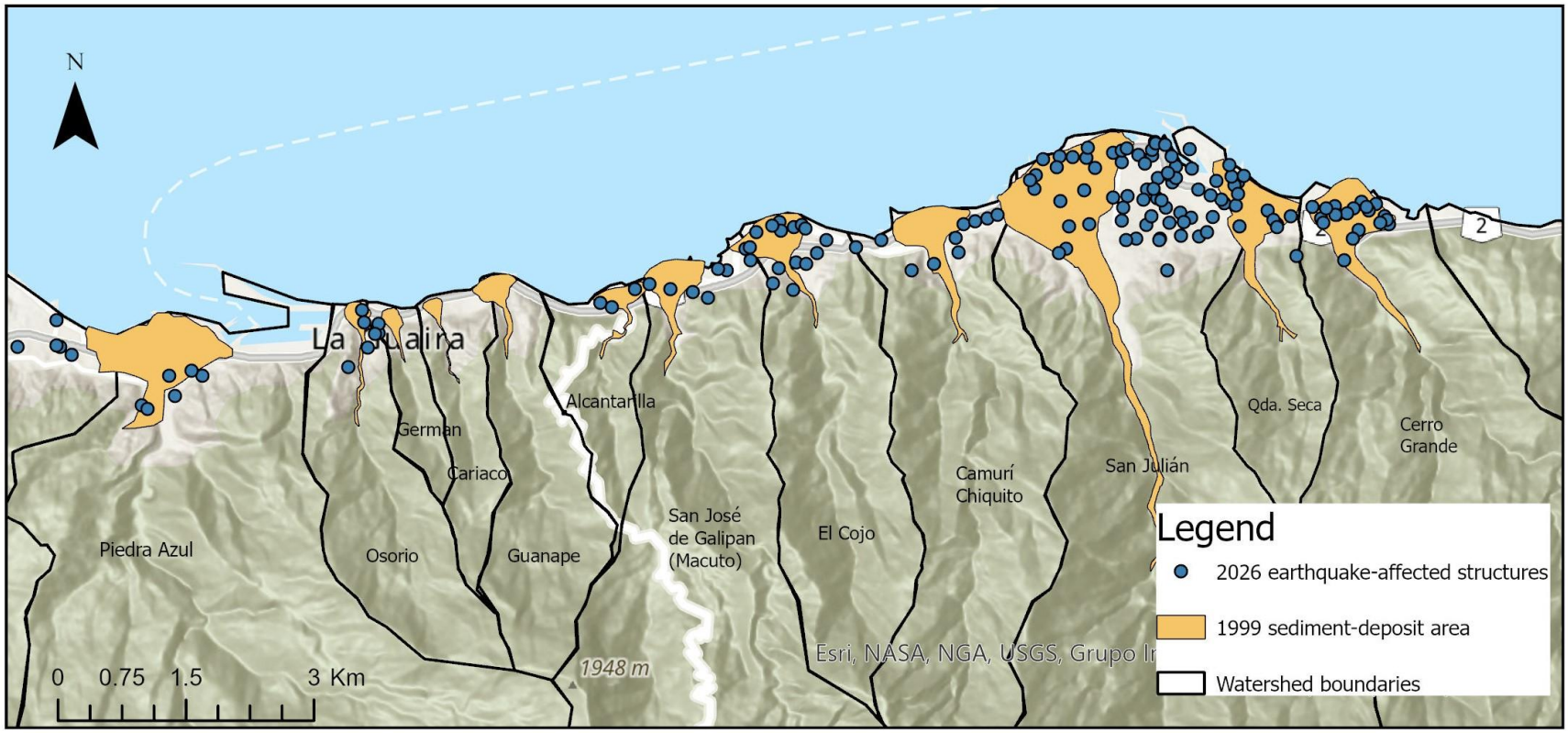


Figura 10-8. Intersección de las estructuras afectadas durante los terremotos del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, consultado por última vez el 30 de junio de 2026) con los depósitos de sedimentos cartografiados tras los aludes torrenciales de diciembre de 1999. La extensión de los depósitos de sedimentos se recopiló de Wieczorek et al. (2001), mapas de JICA citados en Proyecto Ávila (FMI-UCV, 2002), y mosaicos de fotografías aéreas de Cartografía Nacional de diciembre de 1999 proporcionados por FMI-UCV.

En la Tabla 10-2 se presenta una síntesis de las cuencas hidrográficas más afectadas por aludes torrenciales de diciembre de 1999, integrando el área de drenaje, las características de los depósitos de sedimentos, y los volúmenes de sedimentos depositados. Esta tabla se elaboró integrando información procedente de múltiples fuentes que aplicaron diferentes métodos de observación y análisis. Las áreas de drenaje se obtuvieron de las delimitaciones de cuencas hidrográficas reportadas por IMF-UCV (2002) y Wieczorek et al. (2001). La caracterización de los depósitos combinó los mapas de distribución de sedimentos posteriores al evento preparados por JICA y reproducidos en el informe del Proyecto Ávila; observaciones de campo, interpretación de fotografías aéreas y comparaciones de perfiles topográficos previos y posteriores al evento presentados por IMF-UCV (2002); y los estudios de campo del USGS, que documentaron el espesor del depósito, las dimensiones máximas de los peñones, la composición de los sedimentos, los indicadores de profundidad del flujo y la evidencia de incisión a causa de inundaciones posteriores. Se recopilaron observaciones geológicas y geomorfológicas adicionales de Rodríguez et al. (2001) y López y Pérez-Hernández (2010). Los volúmenes depositados reportados fueron tomados de Córdova y González (2003), quienes compararon la topografía fotogramétrica pre y post evento a una escala de restitución de 1:1.000, incorporaron datos batimétricos post-evento, reconstruyeron el lecho marino aproximado pre-evento y calcularon las diferencias de volumen utilizando secciones transversales espaciadas cada 5 m a lo largo de los cursos de agua. Debido a que las fuentes originales difieren en escala, cobertura espacial, y métodos de recopilación de datos, la Tabla 10-2 debe interpretarse como una síntesis a nivel de cuenca hidrográfica de la evidencia disponible, en lugar de un conjunto de datos uniforme producido mediante una sola metodología.Tabla 10-2

Los resultados presentados en la Tabla 10-2 indican que la gradación de los depósitos de sedimentos tras el evento de 1999 varió desde acumulaciones de sedimentos finos hasta depósitos de flujos de detritos gruesos que contenían grandes peñones, con espesores que alcanzaron localmente los 9 m y dimensiones máximas de los peñones que superaron los 10 m en algunas cuencas. Es importante destacar que la cuenca de San Julián, que desemboca en la zona de Caraballeda, una de las más afectadas, presentó el mayor volumen depositado (~2,6 x 10^6 m^3) de sedimento compuesto principalmente (50 %) por grandes peñones (de hasta 5,6 m).

Tabla 10-2. Resumen de las características de la cuencas y de los sedimentos depositados por los aludes torrenciales de diciembre de 1999.

Cuenca hidrográfica	Área (km^2) (Nota 1)	Caracterización de los depósitos de 1999 (Nota 2)	Volumen depositado reportado en 1999 (m^3) (Nota 3)
Piedra Azul	21,1	Los afluentes La Seca y La Comadre aportaron una gran proporción del sedimento depositado en el abanico aluvial, incluyendo abundante material fino.	2.217.861
Osorio	4,5	Depósito de flujo de detritos, con una profundidad estimada de flujo de 3-6 m y un tamaño máximo de peñones de 3,2-7,1 m.	839.182

Cuenca hidrográfica	Área (km²) (Nota 1)	Caracterización de los depósitos de 1999 (Nota 2)	Volumen depositado reportado en 1999 (m³) (Nota 3)
Cariaco	1,34	Rocas de tamaño mediano y grande, sedimentos finos y escombros. El mapa de JICA mostraba profundidades de sedimentos de hasta aproximadamente 4 m cerca del canal.	-
Guanape	4,6	La comparación de los perfiles longitudinales previos y posteriores al evento indicó espesores máximos de depósito de aproximadamente 7-9 m cerca del cambio de pendiente en la entrada del abanico aluvial.	1.000.866
Alcantarilla	1,82	El USGS identificó una secuencia de flujo de detritos gruesos y deposición de sedimentos arenosos durante las inundaciones. Los depósitos tenían un espesor de entre 3,2 y 4,5 m, con tamaños máximos de bloques de entre 1,7 y 2,7 m. El proyecto Ávila describió el material como sedimento mayoritariamente fino y atribuyó parte del aporte de sedimentos finos a una cantera situada aguas arriba.	-
San José de Galipán – Macuto	14	La corriente transportó vegetación, escombros, sedimentos finos y rocas que variaban desde centímetros hasta varios metros. JICA cartografió profundidades de sedimentos que se aproximaban a los 6 m. El USGS describió la deposición de flujos de detritos seguida de incisión a causa de inundaciones posteriores, con depósitos de 1 a 4 m de espesor y peñones de 3,2 a 5,3 m.	1.616.197
El Cojo	6,8	El mapa de JICA indicaba profundidades máximas de sedimentos de aproximadamente 5 m. El USGS identificó depósitos de flujos de detritos, con un espesor de entre 2 y 3,6 m y tamaños máximos de rocas de entre 2,5 y 9,5 m.	1.142.693
Camurí Chiquito	10,2	Los depósitos tenían un espesor aproximado de 3 a 4 m, con tamaños máximos de peñones entre 5,1 y 12 m. La llanura aluvial estaba cubierta en gran parte por una matriz predominantemente arenosa que contenía rocas de tamaño mediano, de aproximadamente 0,3 a 0,8 m de diámetro, junto con grandes troncos de árboles.	1.789.882

Cuenca hidrográfica	Área (km²) (Nota 1)	Caracterización de los depósitos de 1999 (Nota 2)	Volumen depositado reportado en 1999 (m³) (Nota 3)
San Julián	21,5	Flujo de detritos gruesos y finos con depósitos de aproximadamente 4 m de espesor y tamaños máximos de peñones entre 1 y 5,6 m. Las observaciones de campo indicaron que la composición del depósito era aproximadamente del 50% de peñones, el 20% de rocas, el 20% de grava y el 10% de arena y limo.	2.636.280
Quebrada Seca–Vargas	3,1	En la parte superior de la cuenca se encontraban grandes bloques, mientras que hacia el cono aluvial predominaban bloques más pequeños, grava y arena. Depósitos de flujo de detritos gruesos; los depósitos tenían un espesor de 2,5 a 4 m, con peñones de hasta 1,8 a 7,5 m.	1.616.905
Cerro Grande	26,4	Depósitos de inundación con estratificación gradual, de aproximadamente 2 m de espesor, con tamaños máximos de 0,2 a 0,4 m. Los valores típicos para el cono aluvial fueron: 40% de peñones, 16% de rocas, 25% de grava, 7% de arena y 12% de limo y arcilla.	1.680.163

km: kilómetro
m: metro
Notas:
1. FMI-UCV, 2002 y Wieczorek et al. 2001
2. JICA 2000, citado en FMI-UCV 2002; Wieczorek et al. 2001; Rodríguez et al. 2002; López & Pérez-Hernández 2010
3. Córdova y González, 2003

También se estimaron los cambios en la línea costera asociados con la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999 para evaluar la posible intersección entre los impactos de este evento provocado por las lluvias y los terremotos de 2026. Los cambios se estimaron utilizando *CoastSat*, una herramienta de código abierto en Python para el mapeo global de la línea costera. *CoastSat* permite el análisis de series temporales de líneas costeras extraídas de imágenes satelitales Landsat y Sentinel para cualquier ubicación en todo el mundo (Vos et al., 2019). El análisis se realizó para el litoral que se extiende entre Catia La Mar y Caraballeda. Las imágenes satelitales que cubren esta área se descargaron a través de Google Earth Engine para el período comprendido entre el 1 de enero de 1990 y el 31 de diciembre de 2025. En total, se recuperaron 2074 imágenes de Landsat Tier 1 y Sentinel-2 Level-1C, y las imágenes de Landsat Tier 2 se excluyeron del análisis. Las imágenes descargadas fueron filtradas manualmente para el control de calidad, y cualquier imagen con más del 5 % de nubosidad fue descartada. Para mantener una cobertura temporal completa, ocasionalmente se conservaban imágenes con una mínima nubosidad a lo largo de la costa y luego se limpiaban manualmente en ArcGIS Pro para eliminar el ruido.

También se eliminaron las imágenes duplicadas y las que estaban georreferenciadas incorrectamente. Las líneas de costa generadas por *CoastSat* se exportaron como archivos GeoJSON y luego se importaron a ArcGIS Pro, donde se limpiaron y se convirtieron a archivos shapefile para su posterior análisis.

En las Figura 10-9 y Figura 10-10 se muestran los cambios estimados en la línea costera asociados con la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999, centrándose específicamente en las áreas que rodean el Aeropuerto Internacional de Maiquetía Simón Bolívar y Caraballeda, respectivamente. En estas figuras también se muestra la ubicación de las estructuras afectadas por los terremotos de 2026 (crisisvenezuela.org, consultado por última vez el 30 de junio de 2026), así como las cuencas hidrográficas. Los resultados indican que los cambios estimados en la línea costera en el área que rodea el aeropuerto (Figura 10-9) no fueron tan pronunciados como los estimados hacia el área que rodea Caraballeda (Figura 10-10).

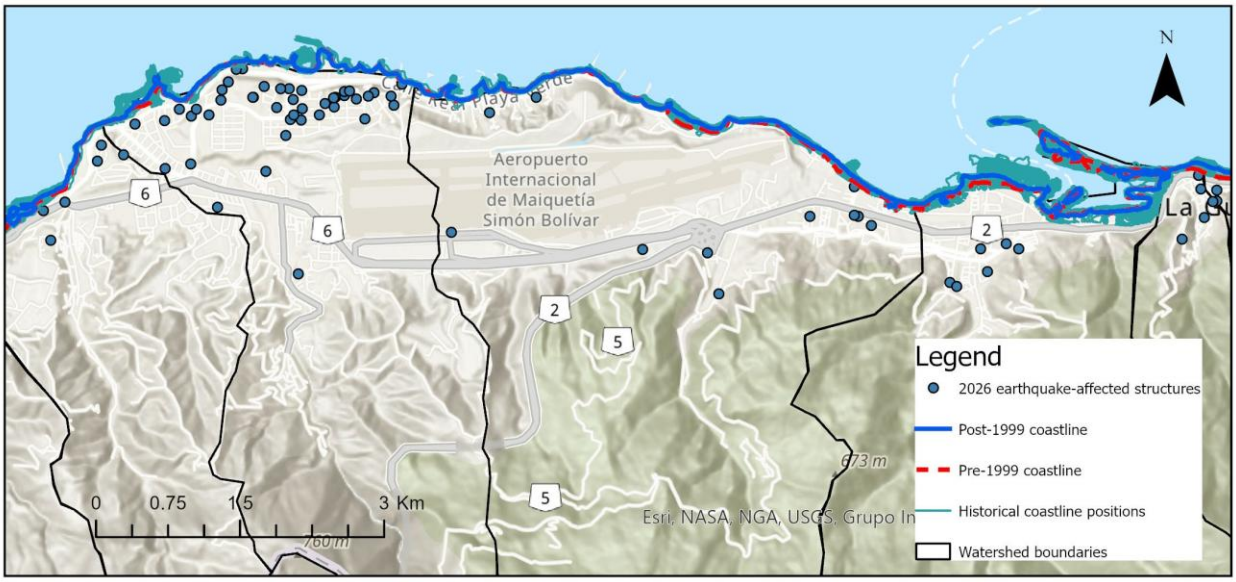


Figura 10-9. Cambios en la línea costera asociados con la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999, mostrando las estructuras afectadas por el terremoto del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, último acceso el 30 de junio de 2026) en el área que rodea el Aeropuerto Internacional de Maiquetía Simón Bolívar. La línea costera anterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 1998, y la línea costera posterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 2000.

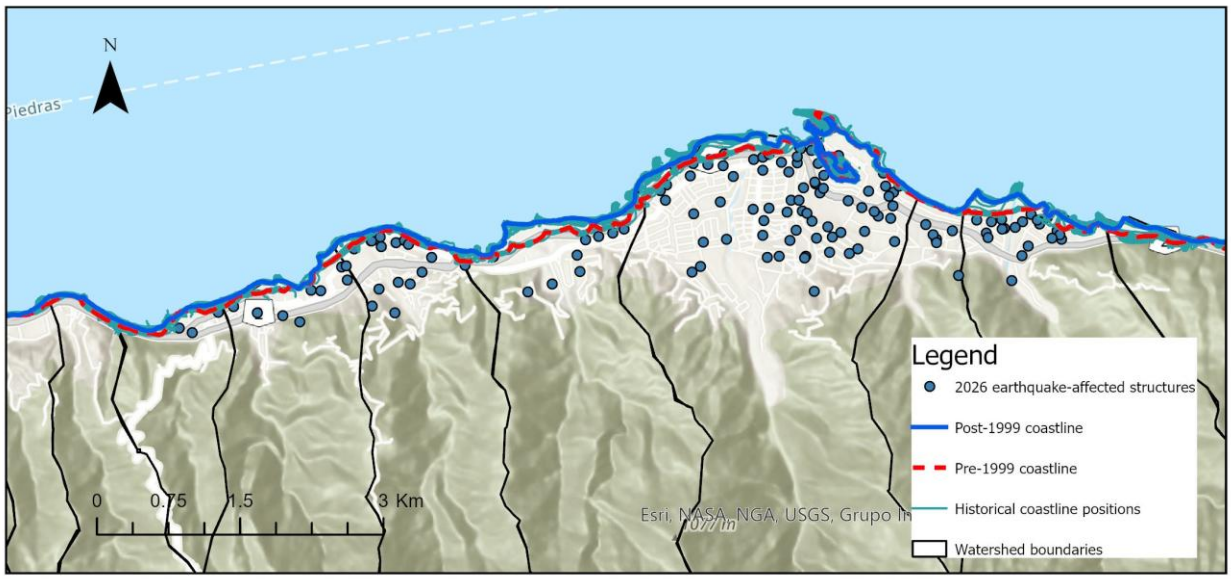


Figura 10-10. Cambios en la línea costera asociados con la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999, mostrando las estructuras afectadas por el terremoto del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, último acceso el 30 de junio de 2026) en el área que rodea Caraballeda. La línea costera anterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 1998, y la línea costera posterior a 1999 corresponde a la línea costera basada en el año 2000.

Utilizando la herramienta de medición en ArcGIS Pro, las longitudes máximas estimadas de cambio de línea costera por cuenca hidrográfica se presentan en la Tabla 10-3. Para las cuencas en el área que rodea el aeropuerto (desde Mamo hasta Piedra Azul), la longitud máxima promedio del cambio de la línea de costa fue de 74 m, mientras que para las cuencas costeras en el área que rodea Caraballeda (desde Osorio hasta Cerro Grande), el valor correspondiente fue de 118 m. Es importante destacar que la longitud máxima de cambio de la línea costera estimada para la cuenca de San Julián, que drena hacia Caraballeda, fue de 190 m, y los cambios en la línea costera ocurrieron de manera consistente a lo largo del lado occidental de la cuenca (Figura 10-10). Aunque estas estimaciones de cambio de la línea costera coinciden con las reportadas por Larsen et al. (2006), los valores presentados en la Tabla 10-3deben considerarse como una aproximación de orden de magnitud dadas las incertidumbres asociadas con las imágenes aéreas utilizadas para el análisis.

Tabla 10-3. Cambio máximo estimado en la línea de costa por cuenca hidrográfica causado por la deposición de sedimentos tras los aludes torrenciales de 1999.

Cuenca hidrográfica	Longitud máxima estimada de cambio de la línea costera (m)
Mamo	80
La Zorra	55
Tacagua	60
Las Pailas	50

Cuenca hidrográfica	Longitud máxima estimada de cambio de la línea costera (m)
Piedra Azul	125
Osorio	70
Cariaco	45
Guanape	55
Alcantarilla	70
San José de Galipán – Macuto	115
El Cojo	115
Camurí Chiquito	280
San Julián	190
Quebrada Seca – Vargas	20
Cerro Grande	220

Tras los aludes torrenciales de diciembre de 1999, se creó la Autoridad Única de Área del Estado Vargas[13] (AUAEV) para coordinar la reconstrucción y desarrollar planes de protección contra inundaciones basados en presas de retención de sedimentos cerradas y abiertas, así como proyectos de mejora de canales aguas abajo, que posteriormente fueron llevados a cabo por CORPOVARGAS (Genatios, 2010; Morassutti, 2010a, 2010b). Para el año 2008, el programa más amplio de reconstrucción y mitigación había dado como resultado la construcción de 63 presas de retención de sedimentos y la canalización de 25 quebradas (López, 2020). La Tabla 10-4 enumera las presas de control que se construyeron posteriores al evento de 1999 ubicadas dentro de las cuencas hidrográficas incluidas en este análisis. Se realizaron numerosos esfuerzos para mejorar la planificación urbana y la capacidad de adaptación de la zona afectada frente a futuros sucesos similares. En particular, el Proyecto Ávila (FMI-UCV, 2002) fue un proyecto integral para la cartografía de zonas de riesgo en los abanicos aluviales, que abarcó 12 cuencas hidrográficas a lo largo de la costa central (orientadas al norte) y 7 cuencas hidrográficas en Caracas (orientadas al sur). El Proyecto Ávila aplicó el modelo numérico bidimensional FLO-2D junto con herramientas en GIS para simular la dinámica del agua y los sedimentos, y utilizó relaciones de probabilidad de ocurrencia e intensidad de eventos para clasificar el peligro como alto, medio, o bajo:

- Las zonas de alto riesgo representaban áreas donde las personas corrían peligro tanto dentro como fuera de los edificios, donde era muy probable que se produjeran daños estructurales y donde debía aplicarse la normativa.
- Las zonas de riesgo medio representaban áreas donde las personas corrían riesgo únicamente fuera de los edificios, donde era posible que se produjeran daños estructurales y donde debía aplicarse la normativa.

[13] El nombre del estado de Vargas se cambió a La Guaira en 2019

- Las zonas de bajo riesgo representaban áreas donde las personas corrían un riesgo bajo o insignificante, donde era poco probable que se produjeran daños estructurales y donde no se recomendaba la regulación, pero sí se fomentaba la concienciación.

Posteriormente, otros estudios generaron nuevos mapas de riesgo de flujos de detritos para cuencas hidrográficas específicas, como el proyecto PREDERES para las cuencas de Mamo, La Zorra, y Tacagua ubicadas en la parte occidental del estado, incluyendo el efecto de obras de mitigación tales como presas y proyectos de canalización (IMF-UCV y DH-UCV, 2007). Courtel et al. (2021) compilaron todos los mapas de amenaza hasta la fecha que han incluido estructuras de control de sedimentos en un total de ocho cuencas: Mamo, La Zorra, Tacagua, San José de Galipán, Piedra Azul, Cerro Grande, y Quebrada Seca de Caraballeda.

La intersección de los daños afectados por los terremotos de 2026 (crisisvenezuela.org, consultado por última vez el 30 de junio de 2026) con las zonas de alto riesgo de flujos de detritos se muestra en la Figura 10-11. De forma similar a la intersección con los depósitos de sedimentos, los resultados indican que hubo una superposición entre los mapas de alto riesgo de flujos de detritos y la distribución espacial de las estructuras dañadas, y que el grado de superposición dependió de las características de la cuenca hidrográfica. La Tabla 10-4 resume la disponibilidad de mapas de riesgo de flujos de detritos entre las cuencas de Mamo y Cerro Grande, indicando si se consideraron estructuras de control, el número de presas de retención construidas por cuenca, y el número de estructuras afectadas por los terremotos de 2026. Esta última cifra se calculó mediante la intersección espacial del inventario de crisisvenezuela.org (último acceso el 30 de junio de 2026) con los límites de las cuencas correspondientes. Además, la Tabla 10-4 incluye el número de estructuras afectadas por el terremoto dentro de la zona de alto riesgo de flujo de detritos y la proporción relativa al número total de estructuras afectadas por cuenca hidrográfica. Esta superposición entre las estructuras afectadas por terremotos y las áreas con alto riesgo de flujos de detritos demostró que, de las 13 cuencas hidrográficas en las que se pudo evaluar la superposición espacial, 52 de las 194 estructuras afectadas por los terremotos de 2026 (~26.8%) estaban ubicadas dentro de áreas con alto riesgo de flujos de detritos. También destaca la importancia de continuar los esfuerzos para actualizar los mapas de riesgo de flujos de detritos, así como los esfuerzos para supervisar y mantener las obras de control de sedimentos.

Tabla 10-4. Obras de control de sedimentos, mapas de riesgo de flujos de detritos por cuenca hidrográfica e intersección espacial de estructuras afectadas por los terremotos de 2026 con zonas de alto riesgo de flujos de detritos torrenciales en La Guaira, Venezuela. Nota: El porcentaje se calculó como la proporción de estructuras dañadas por el terremoto (según lo informado por crisisvenezuela.org) ubicadas dentro de zonas de alto riesgo de flujos de detritos en cada cuenca hidrográfica.

Cuenca hidrográfica	Presas de control de sedimentos (Nota 1)	Mapa de riesgo de flujos de detritos sin obras de control de sedimentos (Nota 2)	Mapa de riesgos de flujos de detritos con obras de control de sedimentos (Nota 3)	Estructuras afectadas por los terremotos de 2026 (Nota 4)	Estructuras afectadas por el terremoto dentro de la zona de alto riesgo de flujos de escombros	Estructuras afectadas por el terremoto dentro de la zona de alto riesgo de flujos de detritos (%)
Mamo	3	-	X	3	0	0%
La Zorra	1	-	X	6	1	17%
Tacagua	3	-	X	43	4	9%
Las Pailas - Curucuti	8	-	-	11	-	-
Piedra Azul	5	X	X	6	1	17%
Osorio	4	X	-	7	2	29%
Alemán	2	-	-	2	-	-
Cariaco	2	X	-	0	0	0%
Guanape	1	X	-	0	0	0%
Alcantarilla	7	X	-	3	1	33%
San José de Galipán (Macuto)	2	X	X	9	1	11%
El Cojo	2	X	-	15	11	73%
Camurí Chiquito	1	-	-	10	-	-
San Julián	3	X	-	75	19	25%
Qda. Seca	4	X	X	7	1	14%
Cerro Grande	2	X	X	20	11	55%

Notas:
1. López 2020
2. FMI-UCV, 2002
3. Courtel et al. (2021)
4. Crisis en Venezuela, 2026

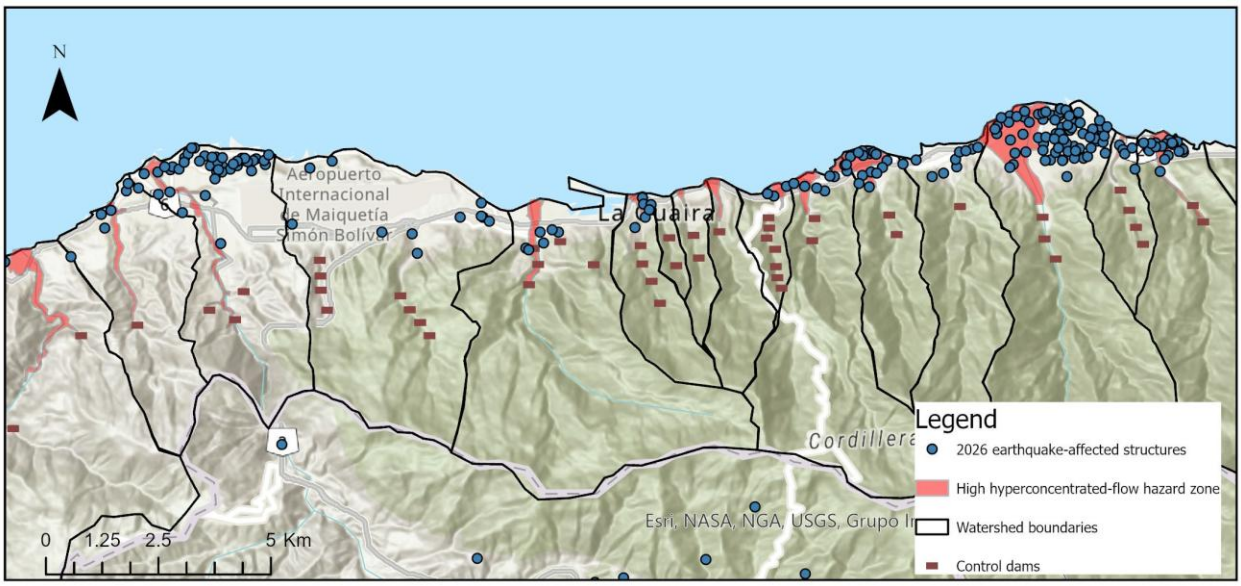


Figura 10-11. Intersección de las zonas afectadas por los terremotos del 24 de junio de 2026 (crisisvenezuela.org, consultado por última vez el 30 de junio de 2026) con zonas de riesgo de flujos de detritos. Los mapas originales de riesgo de flujos de detritos se elaboraron en el marco del Proyecto Ávila (IMF-UCV, 2002). La figura muestra el mapa de riesgo elevado de flujos de detritos; no incluye las zonas de riesgo medio o bajo. Para las cuencas de Mamo, La Zorra, Tacagua, Piedra Azul, Alcantarilla, San José de Galipán (Macuto), Quebrada Seca, y Cerro Grande, se utilizaron mapas actualizados de peligro de flujo de escombros que incorporan la influencia de las presas de control de sedimentos (Courtel et al., 2021).

10.4 Peligros compuestos

Los aludes torrenciales a lo largo de la Cordillera de la Costa al norte de Caracas son peligros recurrentes y no eventos aislados, con eventos históricos documentados en 1798, 1938, 1948 y 1951 (Altez, 2005). Sin embargo, los impactos de estos eventos son difíciles de comparar directamente con los del año 1999 debido a los cambios en la densidad de población y el desarrollo urbano (Altez y Urbani, 2021).

Posterior a los aludes torrenciales del año 1999, la primera tormenta importante que puso a prueba el rendimiento de las presas de control de sedimentos tuvo lugar en febrero de 2005. Provocó 431 mm de lluvia (medidos en la estación hidrometeorológica de Macuto) a lo largo de la Cordillera de la Costa y causó aludes torrenciales que afectaron muchas de las mismas áreas afectadas en el año 1999 (López, 2020). El evento del año 2005 fue importante para movilizar nuevamente sedimentos que se habían acumulado pero que no fueron transportados al mar en el año 1999, con un volumen total de sedimentos depositados de 800.000 m^3 (López, 2020). Una inspección de las presas de control de sedimentos realizada por FUNVISIS y el Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (FUNVISIS & IMF-UCV, 2005) después del evento del año 2005 indicó que, de las 18 presas inspeccionadas, 10 estaban casi completamente llenas de sedimentos, pero aún contaban con cierta capacidad para almacenamiento. Es importante destacar que los resultados de la inspección pusieron de manifiesto

la dificultad de acceder a la mayoría de las presas para conducir una limpieza de sedimento acumulados y restaurar la capacidad de almacenamiento.

Dada la identificación de 650 deslizamientos de tierra provocados por los terremotos a lo largo de la Cordillera de la Costa (véase la Figura 10-12), el objetivo de esta sección es evaluar el potencial que futuros aludes torrenciales podrían tener en transportar los sedimentos provenientes de los deslizamientos hacia el mar e impactar nuevamente muchas de las áreas y comunidades ya afectadas en el año 1999. La densidad de deslizamientos de tierra inducidos por los terremotos en cada cuenca hidrográfica se muestra en la Figura 10-12. Los porcentajes de superficie (área de deslizamiento cartografiada en relación con el área total de la cuenca hidrográfica) incluyen toda el área visible del deslizamiento, ya que no fue posible distinguir de forma fiable las zonas de origen y de depósito en varias áreas. Hasta que se separen las zonas de origen y de depósito , estas densidades deben considerarse un índice de la actividad de deslizamientos de tierra. Los resultados indican que las mayores densidades de deslizamientos de tierra (4-5%) se estimaron para la cuenca de San Julián, que desemboca en Caraballeda, y para la cuenca de El Cojo. Además, los resultados indican que los deslizamientos de tierra provocados por terremotos se produjeron principalmente en la parte alta de las cuencas hidrográficas. Al comparar los deslizamientos de tierra cosísmicos con los deslizamientos de tierra provocados por las lluvias en el año 1999, se observan dos diferencias importantes. En primer lugar, la densidad de deslizamientos de tierra provocados por las lluvias fue mayor en el año 1999, con la cuenca costera de San Julián, por ejemplo, mostrando una densidad del 18 % (López, 2020). En segundo lugar, López (2020) informó que la mayoría de los deslizamientos de tierra provocados por las lluvias durante el evento del año 1999 tuvieron lugar en la parte baja de la cuenca hidrográfica. Sin embargo, considerando que los eventos hidrológicos a lo largo de la Cordillera de la Costa tienden a producir más lluvia en elevaciones más altas en comparación con la costa (Larsen et al., 2001), futuras tormentas pueden tener la capacidad de arrastrar y transportar el sedimento proveniente de los deslizamientos de tierra a causa de los terremotos del año 2026, lo que podría inducir futuros aludes torrenciales. Cabe señalar que, además de la densidad de deslizamientos, otros factores también son importantes a la hora de considerar la posible generación de aludes torrenciales (por ejemplo, el tipo de suelo, la cubierta vegetal y la pendiente).

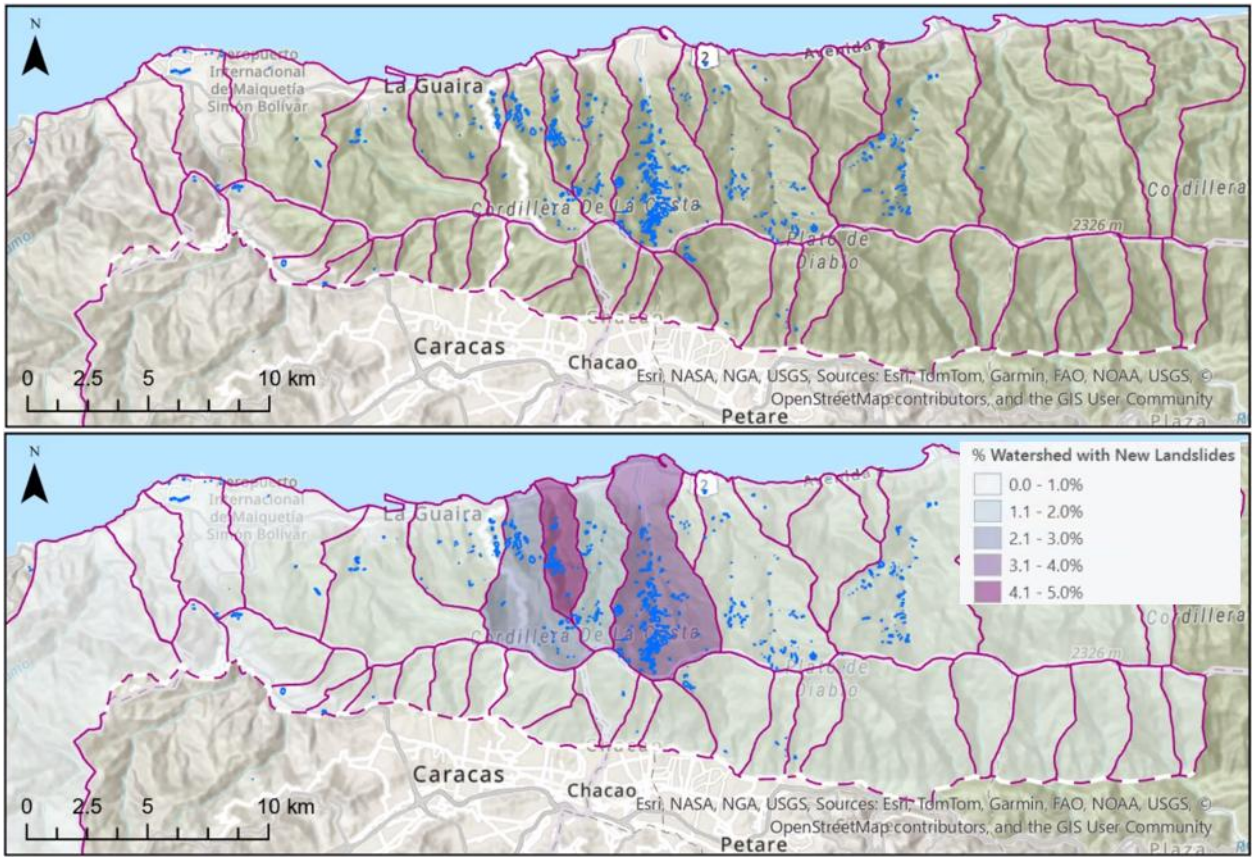


Figura 10-12. Las cuencas hidrográficas (en color púrpura) se delimitaron manualmente mediante una evaluación geomorfológica de los flancos norte y sur de la montaña El Ávila. Los posibles deslizamientos de tierra cosísmicos (en azul) se cartografiaron como nuevas anomalías en la pendiente detectadas al comparar imágenes aéreas anteriores y posteriores al terremoto. Nota: Los límites de las cuencas hidrográficas del sur están truncados (líneas discontinuas) en la falda sur de la montaña El Ávila y no abarcan las cuencas de Caracas.

10.5 Observaciones en el lugar del deslizamiento de tierra

Esta sección proporciona imágenes satelitales y fotografías de campo de los deslizamientos de tierra observados por el equipo GEER, tanto sobre el terreno como de forma remota. La mayoría de los deslizamientos de tierra ocurrieron en zonas remotas a las que no se pudo acceder para realizar investigaciones de campo; se tomaron fotografías en algunos lugares a los que el equipo de campo de GEER sí pudo acceder. En el momento de redactar este informe, gran parte del Parque Nacional Waraira Repano (también conocido como El Ávila, que contiene aproximadamente el 80% de los deslizamientos identificados en el Área A) permanece cerrado por motivos de seguridad. Sin embargo, el terreno escarpado hacía visibles varias zonas de deslizamientos activos desde las áreas pobladas al sur (Caracas) y al norte (Caraballeda) de la Cordillera de la Costa.

Las cifras de observación del sitio se centran en: 1) deslizamientos que causan o amenazan con afectar la infraestructura, 2) peligros compuestos relacionados con aludes torrenciales, y 3) ejemplos típicos de deslizamientos superficiales de suelo/roca observados en toda la región. Estas cifras no son en absoluto exhaustivas en cuanto a los diferentes tipos de impactos. A

continuación, se detallan el tipo principal de impacto y el área de enfoque (ya sea A o B, como en la Figura 10-1) para las figuras de observación del sitio seleccionado. Remitimos a los lectores al repositorio DesignSafe para obtener datos georreferenciados de los deslizamientos de tierra identificados por el equipo GEER para este informe.

Entre los **impactos en la infraestructura** observados a raíz de los deslizamientos de tierra se incluyen bloqueos de carreteras y daños en las laderas que sostienen los edificios:

- Figura 10-13; Impactos en la carretera (Área A)
- Figura 10-14; Impactos en la carretera (Área A)
- Figura 10-15; Impactos en la carretera (Área B)
- Figura 10-16; Carretera y edificio (Área A)
- Figura 10-17; Impactos en edificios y carreteras (Área A)

Entre los **peligros compuestos** identificados se incluyen los daños o la deposición anormal de material en las presas de retención de sedimentos. Independientemente de la presencia de presas de retención de sedimentos, el exceso de depósitos de coluvión en la cuenca hidrográfica representa un peligro compuesto para los flujos de detritos durante las lluvias intensas:

- Figura 10-18; Presa de retención y acumulación de escombros (Área A)
- Figura 10-19; Presa de retención y acumulación de escombros (Área A)
- Figura 10-20; Presa de retención y acumulación de escombros (Área A)
- Figura 10-21; Acumulación de escombros y posible reactivación profunda (Área A)
- Figura 10-22; Acumulación de escombros (Área B)

Ejemplos típicos de deslizamientos de tierra provocados por este evento son los deslizamientos superficiales de rocas y suelo:

- Figura 10-22; Esta figura también muestra deslizamientos superficiales ampliamente distribuidos (Área B)
- Figura 10-23; Reactivación superficial en un sitio de baja elevación (Área A)
- Figura 10-24; Deslizamientos superficiales a gran altitud, incluyendo algunas reactivaciones (Área A)
- Figura 10-25; Deslizamientos superficiales a gran altura, visibles desde la ciudad (Área A).

10.5.1 Cifras de impacto en la infraestructura



Figura 10-13. Deslizamiento de tierra que afecta la carretera de acceso secundaria en la cuenca hidrográfica hacia Maiquetía (66.9712359°O, 10.5703273°N). Imágenes aéreas de Vantor.

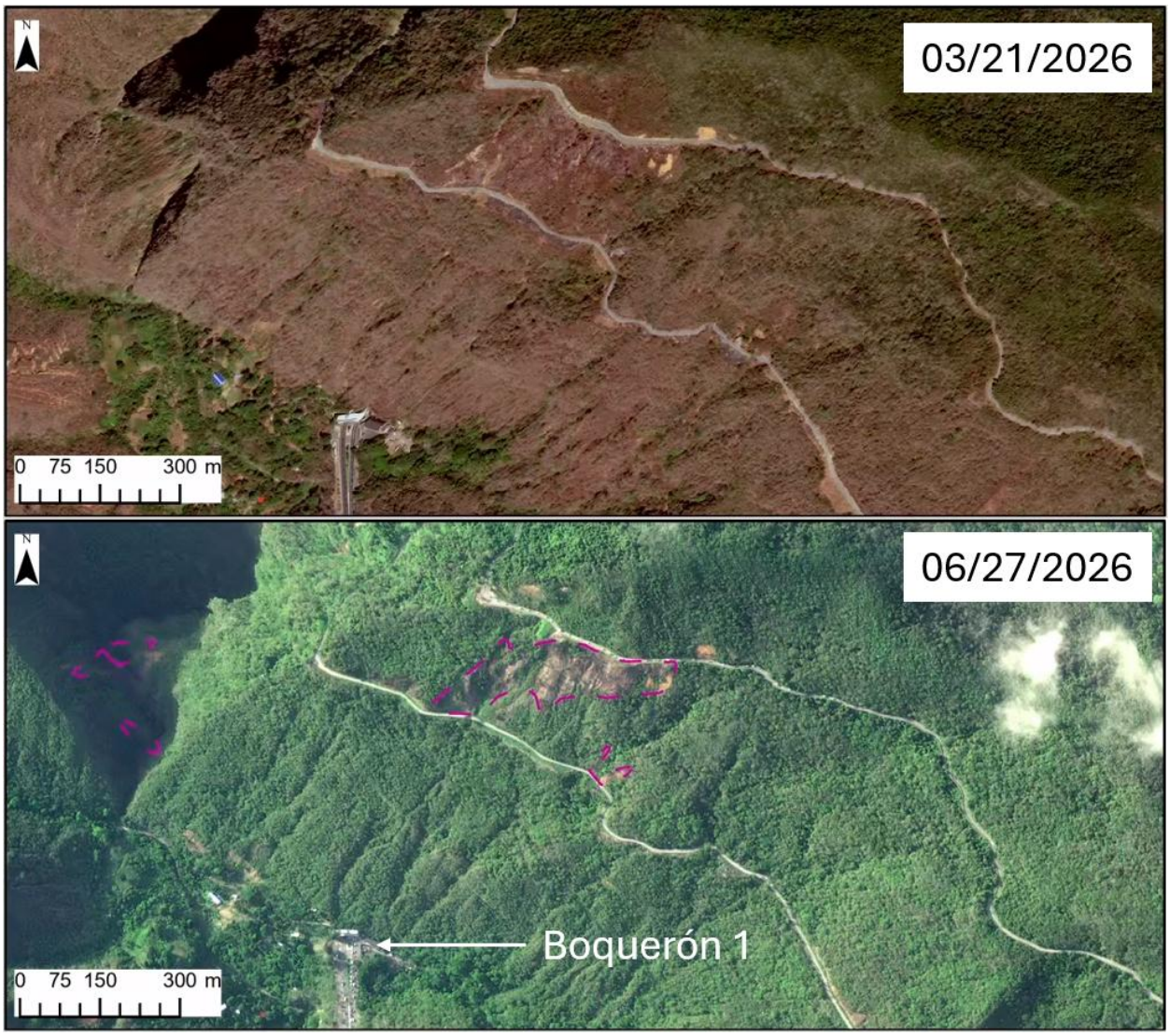


Figura 10-14. Deslizamiento de tierra, incluyendo cierta reactivación, con posibles impactos en la Carretera Vieja de La Guaira (antigua carretera a La Guaira) y en la parte alta de la entrada sur del túnel Boquerón 1 (67.0015900°O, 10.5616871°N). Imágenes aéreas de Vantor.



Figura 10-15. Deslizamientos de tierra que afectan aproximadamente a 400 metros de la carretera a Puerto Cruz. (67.337402 O, 10.529022 N). Imágenes aéreas de la escena 26JUN25142038-S2AS-200013362902_01_P001 de Maxar WorldView-2.

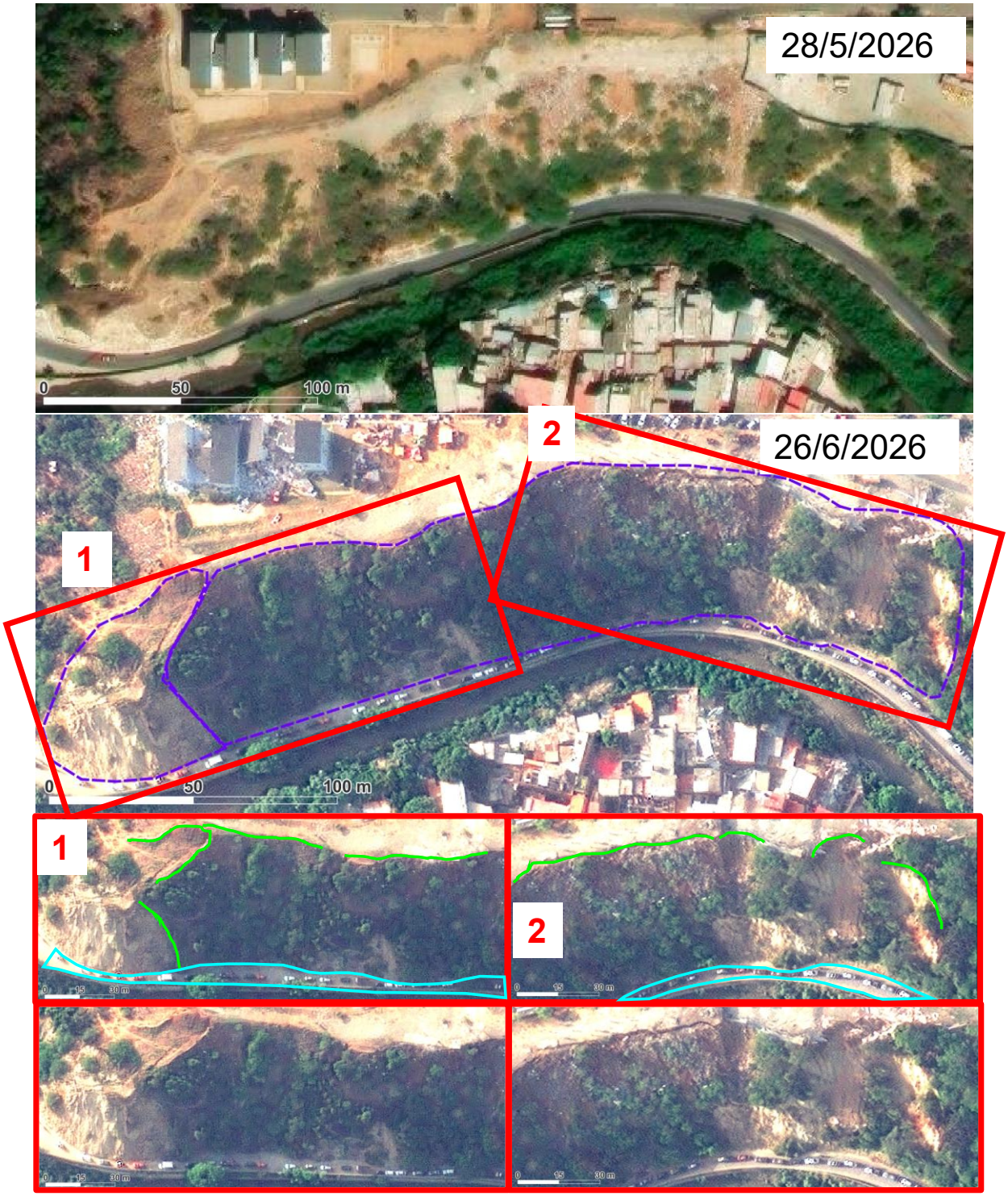


Figura 10-16. Deslizamientos entre las residencias de Hugo Chávez y el río Tacagua. Los contornos de los deslizamientos de tierra representados en el mapa están indicados con líneas discontinuas de color púrpura. Las grietas de tensión y los escarpes de cabecera están indicados en verde, y el ancho de la calzada utilizable (reducido de dos a un carril debido a los impactos de los deslizamientos de

tierra) a lo largo de Vía Alterna Playa Grande está indicado en cian. (67.0251448°W, 10.6048289°N). Imágenes aéreas de Vantor.

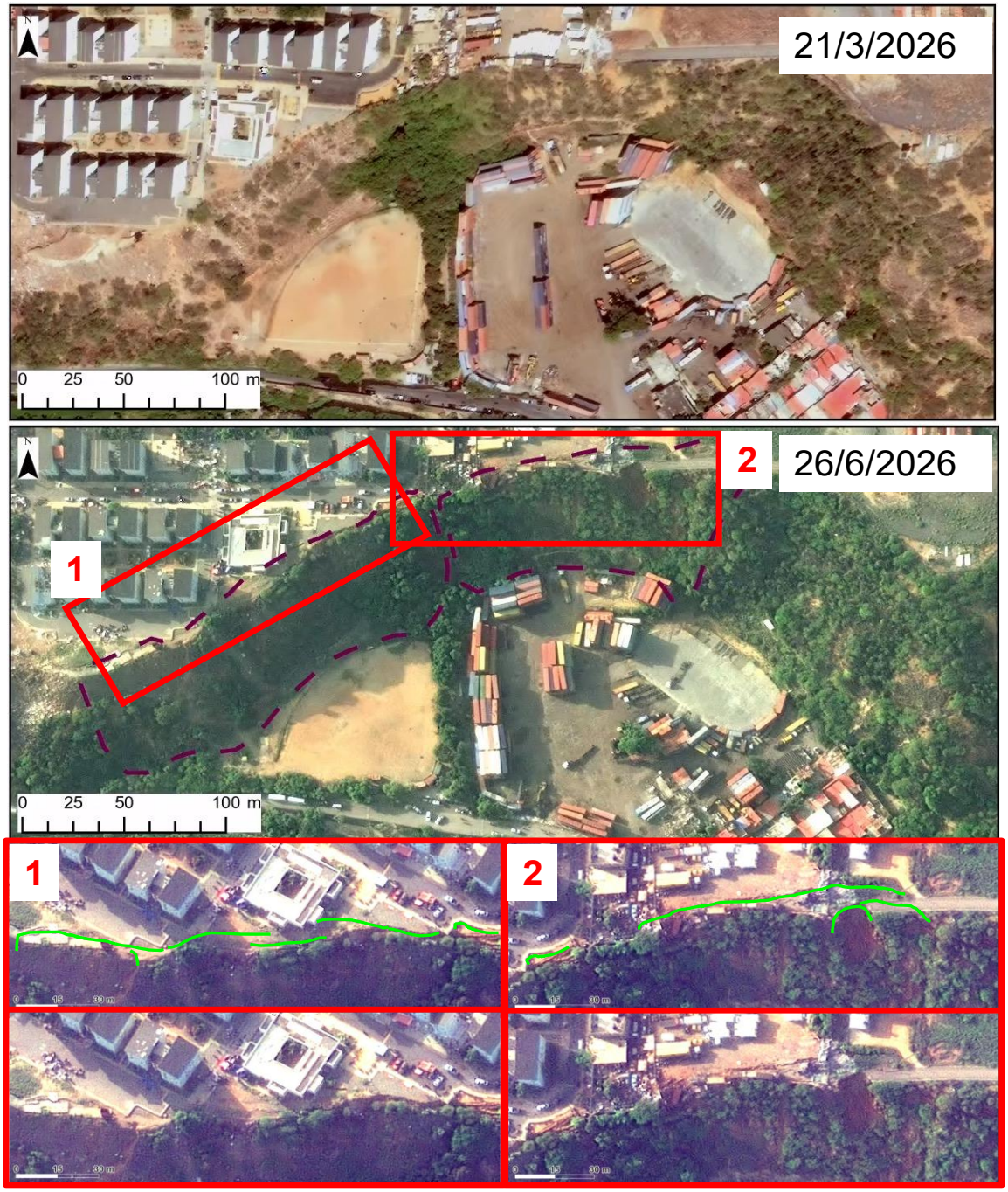


Figura 10-17. Deslizamientos al sur de las residencias Hugo Chávez y la Avenida A. En las dos áreas ampliadas etiquetadas como 1 y 2, se muestran las imágenes posteriores al terremoto con y sin las marcas de las grietas que se muestran en verde. (67.0202560°W, 10.6051444°N). Imágenes aéreas de Vantor.

10.5.2 Figuras de peligros compuestos

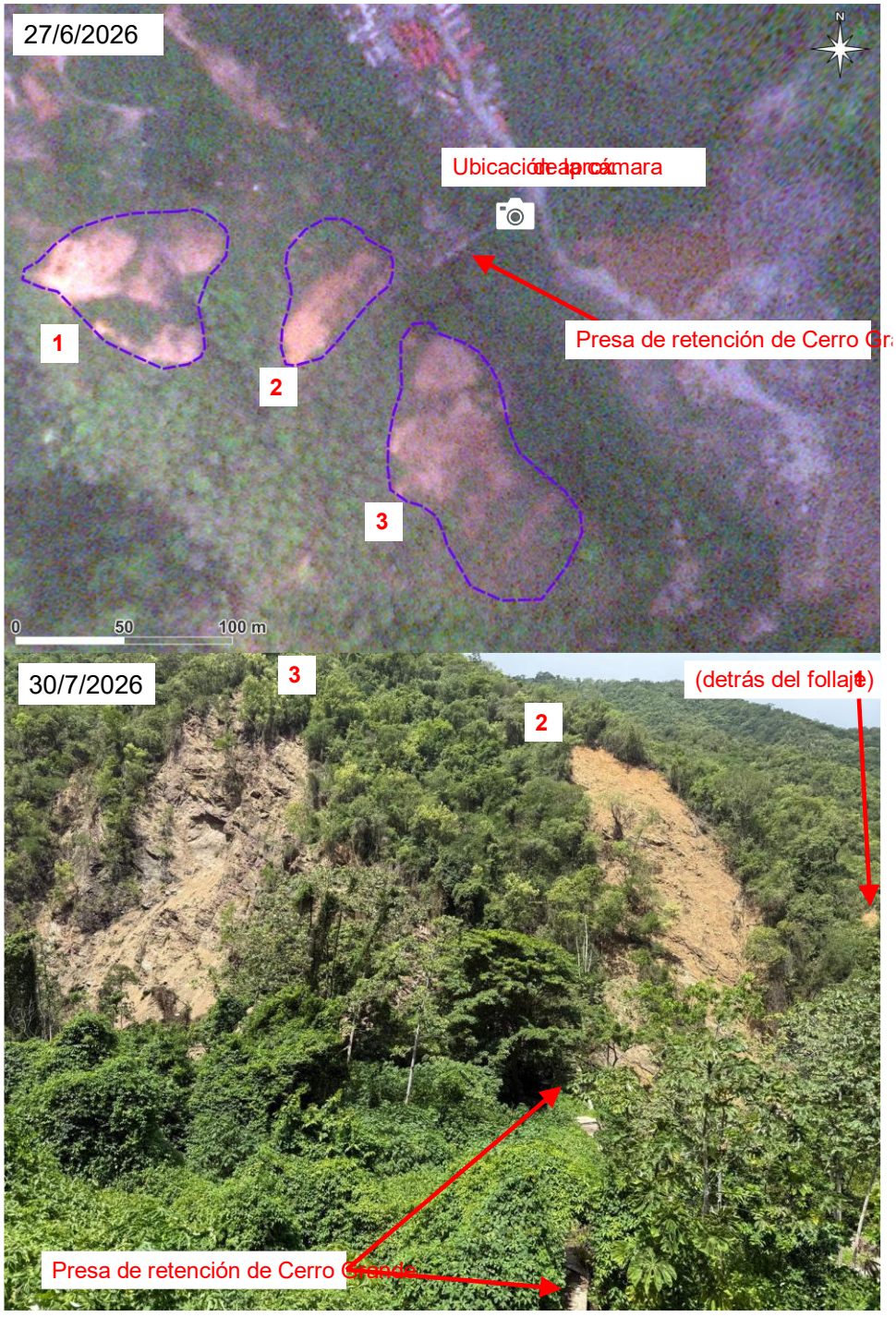


Figura 10-18. Deslizamientos de tierra con escombros liberados detrás (Diapositiva 3) y delante (Diapositivas 1 y 2) de la presa de retención de Cerro Grande. En las diapositivas 2 y 3 se aprecian fallos superficiales. El afloramiento expuesto en la diapositiva 3 muestra una mezcla de material recientemente removido y superficie erosionada (previamente expuesta). La parte visible de la

diapositiva 2 parece haber sido expuesta recientemente. Fotografía cortesía de Pascual Perazzo. (66.81881 O, 10.598951 N).

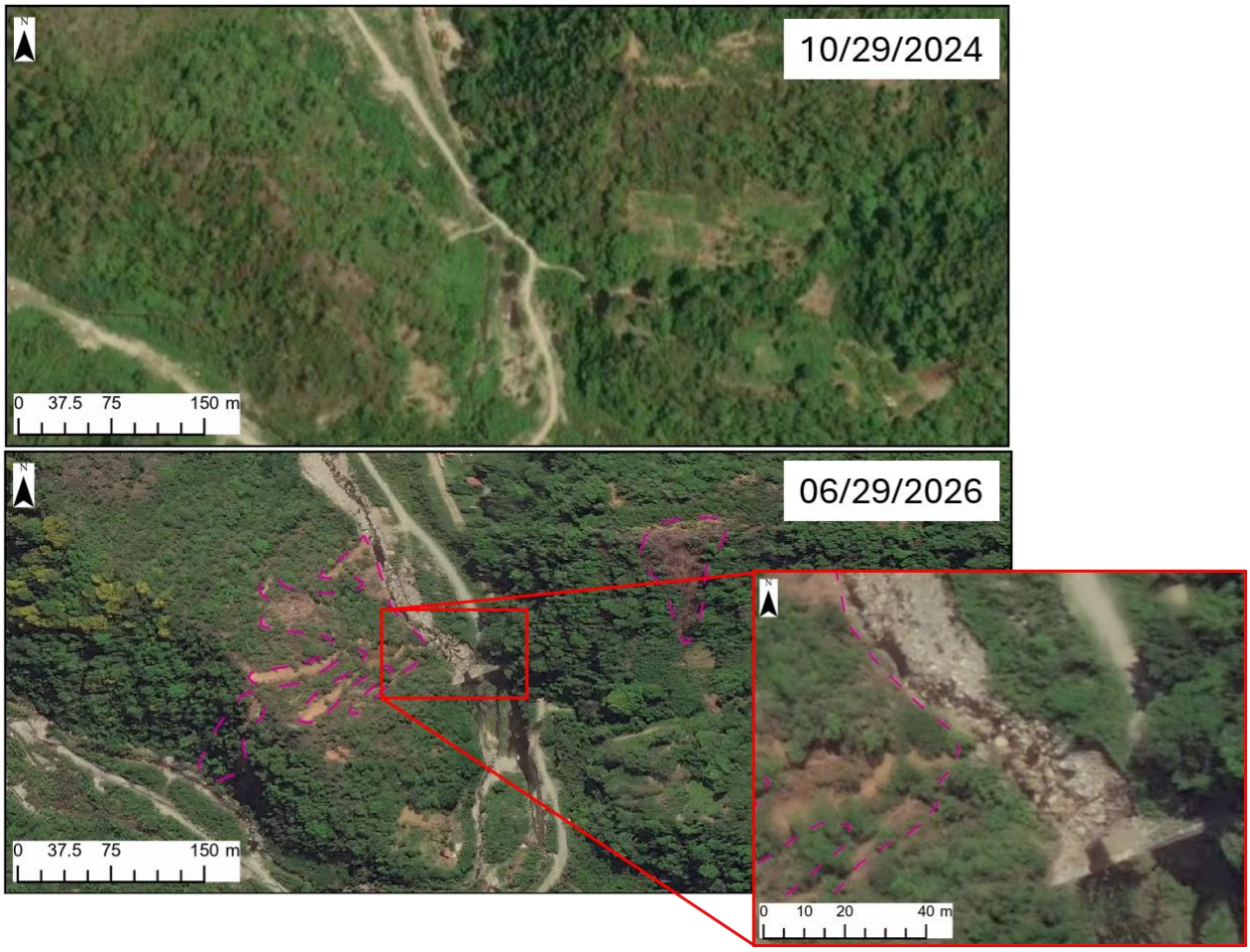


Figura 10-19. Los suelos desplazados fluyen hacia el río Naiguatá, con una acumulación significativa inmediatamente aguas abajo de la presa de retención. Los deslizamientos se muestran con líneas discontinuas de color púrpura. Cuenca hidrográfica hacia Naiguatá (66.7441971°O, 10.6022971°N). Imágenes aéreas de Vantor.

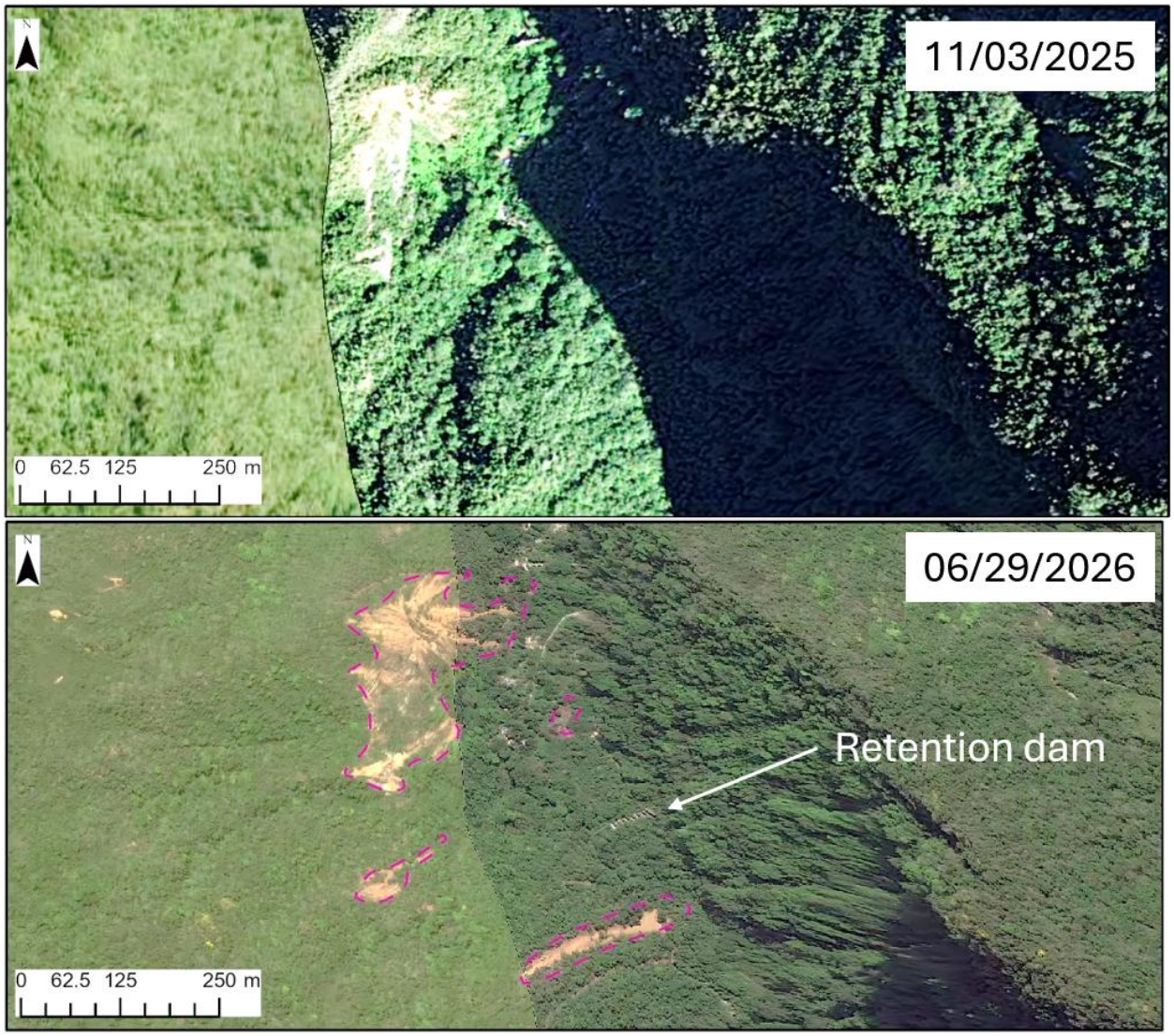


Figura 10-20. Nuevos deslizamientos y otros reactivados se dirigen hacia el río San Julián. Obsérvese la distorsión de la imagen posterior al terremoto. Los deslizamientos de tierra se muestran con líneas discontinuas de color púrpura. Cuenca hidrográfica hacia Caraballeda (66.8480896°O, 10.5910641°N). Imágenes aéreas de Vantor.



Figura 10-21. Deslizamiento de tierra en los bordes de una formación geológica existente que puede ser un deslizamiento traslacional coherente histórico. La fuga de material derivada de la actividad visible afecta a Quebrada Tacagua. Determinar si el desplazamiento en una superficie de deslizamiento coherente más profunda se movilizó (o removilizó) es de interés para futuras investigaciones y para comprender el potencial de formación de presas por deslizamientos de tierra en Quebrada Tacagua. Vista topográfica de Esri World Hillshade e imágenes aéreas de Vantor. (67.008121 O, 10.570883 N).



Figura 10-22. Ejemplo típico de deslizamientos superficiales distribuidos en una amplia zona geográfica en el Área B. Muchos deslizamientos impactan el arroyo en el fondo de la cuenca (aguas abajo de la curva del meandro abandonado). Cuenca hidrográfica hacia Puerto Cruz. (67.344641 O,

10.506438 N). Imágenes aéreas de la escena 26JUN25142038-S2AS-200013362902_01_P001 de Maxar WorldView-2.

10.5.3 Ejemplos típicos de deslizamientos de tierra (Figuras)

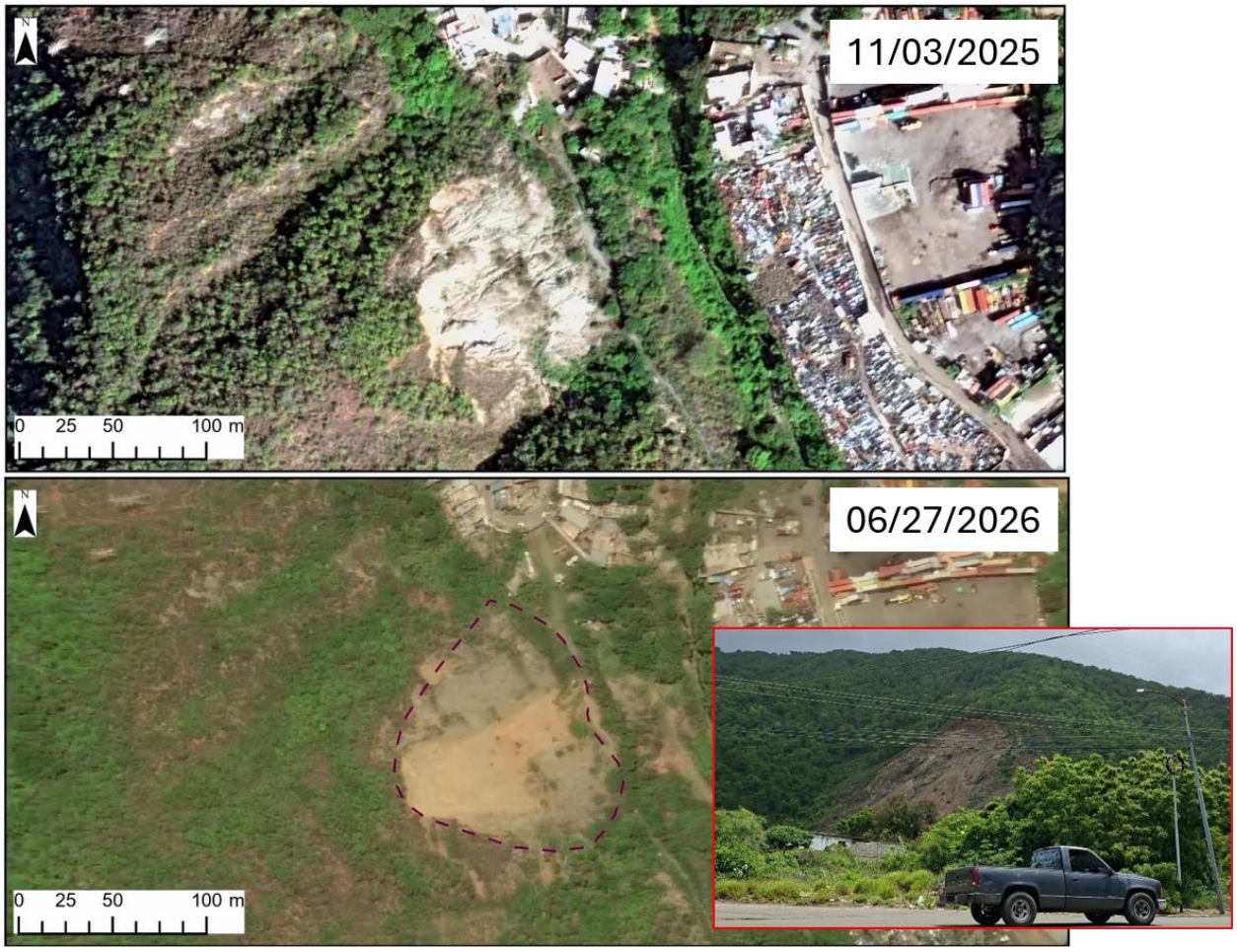


Figura 10-23. Esta diapositiva es una reactivación. Se observa una expansión del escarpe de la cabezera del deslizamiento, y la distribución del color en la superficie de la diapositiva evidencia la salida de material fresco. También es un ejemplo de los deslizamientos típicos de la Cordillera de la Costa: poco profundos y con una gran alteración del terreno. Verificado sobre el terreno por el equipo de campo de GEER, Fase III, el 20 de julio de 2026 (fotografía abajo a la derecha). Tanaguarena (67.0236126°W, 10.6126782°N). Imágenes aéreas de Vantor.

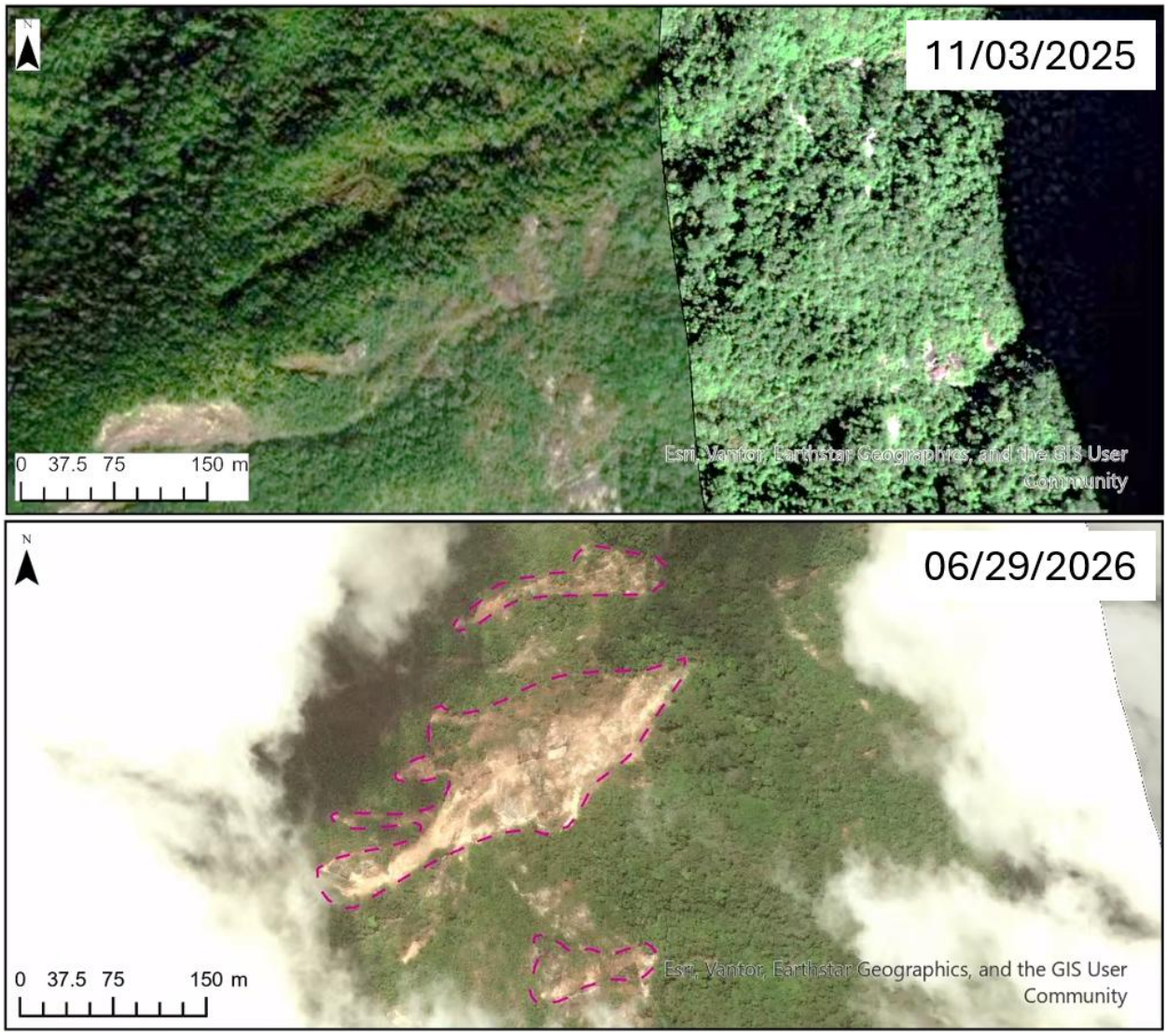


Figura 10-24. Los nuevos deslizamientos y los que se han reactivado se dirigen hacia el río San Julián, delimitados con líneas discontinuas de color púrpura. Cuenca hidrográfica hacia Caraballeda (66.8500742°O, 10.5577138°N). Imágenes aéreas de Vantor.

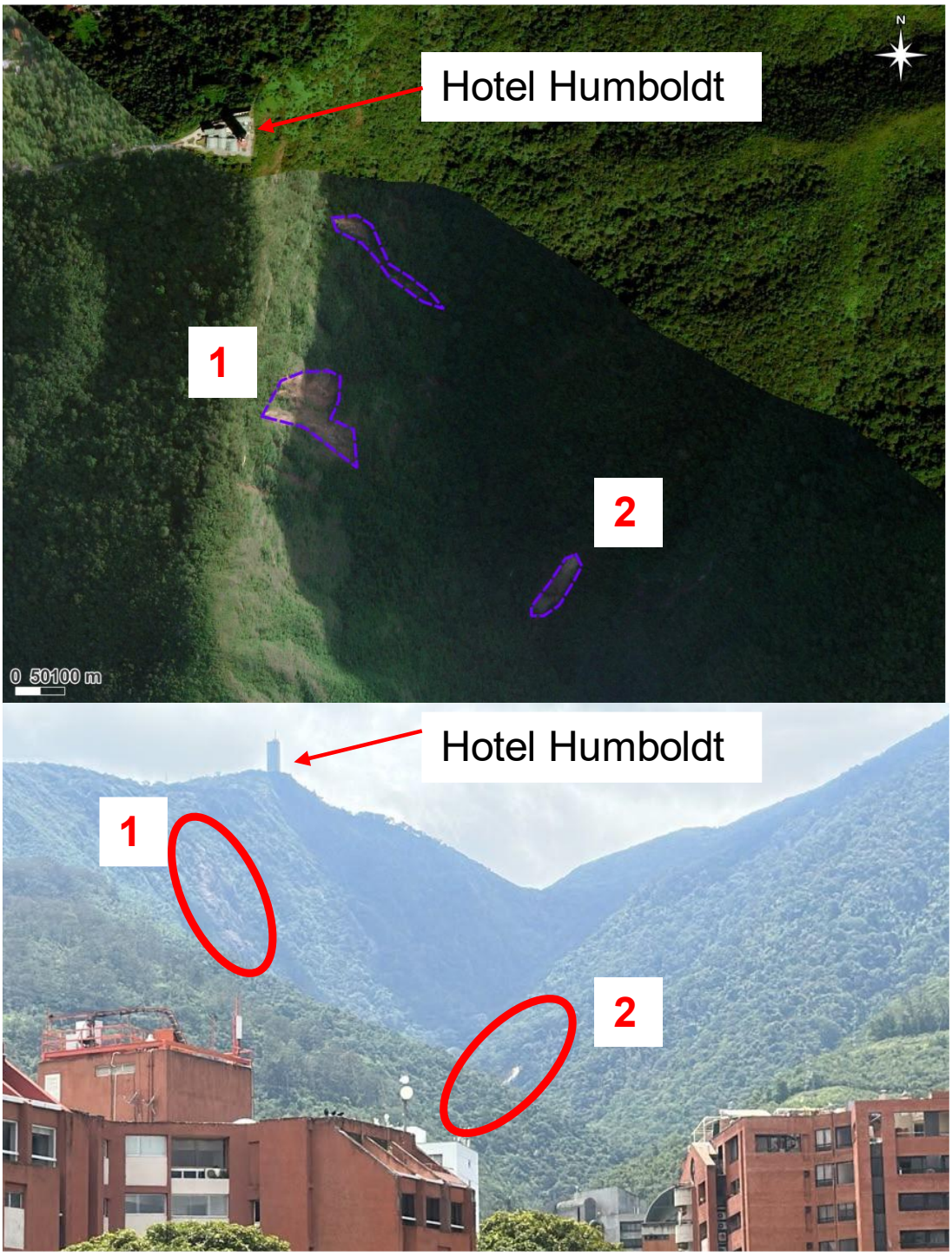


Figura 10-25. Deslizamientos de tierra visibles desde Chacao en Caracas. (66.869378 O, 10.536159 N). Foto proporcionada por el Ing. Carlos Arcay Iturriza.

10.6 Oportunidades para la recopilación de datos en el futuro

Inventario de deslizamientos de tierra y comparación de modelos: El inventario de deslizamientos de tierra que se presenta en esta sección se elaboró mediante la interpretación visual de imágenes satelitales posteriores al evento y es preliminar. El desarrollo de un inventario con control de calidad para la región afectada, aplicando criterios de mapeo consistentes, reforzaría las estimaciones aquí presentadas. Se debe comparar un inventario verificado con modelos predictivos (por ejemplo, el producto Ground Failure del USGS) para este evento. El terreno escarpado y de suelo delgado de La Guaira, con su larga historia de deslizamientos de tierra, constituye un caso de prueba exigente para los modelos predictivos regionales.

Seguimiento continuo de la actividad de deslizamientos de tierra: Los indicadores de actividad de deslizamientos de tierra en curso justifican una vigilancia continua para comprender mejor los efectos de los peligros compuestos. Los cambios de color en la vegetación debido a los daños causados por el deslizamiento de tierra pueden hacerse evidentes solo después de varias semanas del evento desencadenante, por lo que la revisión repetida de imágenes mejorará la comprensión de la actividad de deslizamientos de tierra cosísmicos. Además, el hecho de que los sitios conocidos de deslizamientos de tierra cosísmicos crezcan (lo que indica una continua deposición de coluvión) en los meses posteriores al evento mejorará la comprensión de los efectos de los terremotos en las tasas de deslizamientos de tierra y los umbrales de precipitación que los desencadenan.

Investigación de campo sobre las condiciones de la pendiente y los depósitos de suelo: Existen varios tipos de mediciones de campo importantes para resolver cuestiones que las imágenes satelitales no pueden abordar:

- Caracterización 3D de las áreas de origen y deposición de deslizamientos de tierra, mediante teledetección, para análisis mecánico,
- Estudios de las condiciones del terreno para detectar grietas en las zonas de escarpe y en zonas sin actividad aparente de deslizamientos de tierra,
- Profundidad del suelo residual y las raíces sobre el lecho rocoso en las áreas de origen de 1999 y 2026 y adyacentes a ellas, y
- Evidencia de la distancia de recorrido y su distribución en sitios característicos.

Los estudios de las condiciones del terreno en áreas que no sufrieron fallas ayudarían a explicar los mecanismos de la relación entre el fuerte movimiento del suelo y la mayor susceptibilidad a los deslizamientos de tierra y aludes torrenciales inducidos por la precipitación en los años posteriores a un terremoto (Fan et al. 2019). Las distancias de recorrido no se pueden capturar de forma consistente a partir de imágenes satelitales, especialmente en zonas con vegetación densa. Caracterizar el alcance de los deslizamientos contribuiría a comprender mejor la relación entre los eventos sísmicos y las precipitaciones que desencadenan dichos deslizamientos. La comparación del espesor del suelo entre áreas donde se registraron deslizamientos en los años 1999 y 2026 podría permitir comprobar si el agotamiento del material de origen en el año 1999 limitó el desencadenamiento de deslizamientos en las estribaciones de la Cordillera de la Costa.

10.7 Agradecimientos

Los autores agradecen sinceramente al Dr. José Luis López Sánchez del Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela y al Ing. Gian Franco Morassutti por proporcionar información valiosa que sirvió de base para la investigación realizada para este estudio. También agradecemos sinceramente a los miembros del Programa de Riesgos de Deslizamientos de Tierra del USGS, en particular a la Dra. Kate Allstadt, así como a los miembros del Programa de Respuesta ante Desastres de la NASA, especialmente a Joshua Barnes.

10.8 Referencias

Altez, R. 2005. Historia sin memoria: La cotidiana recurrencia de eventos desastrosos en el estado Vargas-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, número especial 2005, 313–342.

Altez, R. y Urbani Patat, F. 2021. Morfologías del olvido: Abanicos aluviales, ocupación del espacio y vulnerabilidad en el litoral central de Venezuela. En J. L. López Sánchez (Ed.), Los aludes torrenciales de 1999 en Vargas: 20 años después (págs. 138-158). Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela.

Córdova, J. R. y González, M. (2003). Estimación de los volúmenes y caudales máximos que produjeron los aludes torrenciales ocurridos en diciembre de 1999 en cuencas del Litoral Central del Estado Vargas, Venezuela. Acta Científica Venezolana, 54 (Suplemento 1), 33–48.

Courtel, F., López, J. L., Bello, M. E., & Sánchez, K. (2021). Influencia de las obras de control de aludes torrenciales en la reducción de la amenaza en el Estado Vargas. En J. L. López Sánchez (Ed.), Los aludes torrenciales de 1999 en Vargas: 20 años después (págs. 379–404). Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela.

Centro de Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres. (2018). Archivo EROS del USGS: Elevación digital: Misión Topográfica de Radar del Transbordador (SRTM) Global de 1 segundo de arco [Conjunto de datos]. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT

Fan, X., Scaringi, G., Korup, O., West, A. J., van Westen, C. J., Tanyas, H., Hovius, N., Hales, T. C., Jibson, R. W., Allstadt, K. E., Zhang, L., Evans, S. G., Xu, C., Li, G., Pei, X., Xu, Q. y Huang, R. (2019). Earthquake-Induced Chains of Geologic Hazards: Patterns, Mechanisms, and Impacts. [Cadenas de peligros geológicos inducidas por terremotos: Patrones, mecanismos e impactos]. *Reviews of Geophysics*, *57*(2), 421–503. https://doi.org/10.1029/2018RG000626

FUNVISIS y FMI-UCV (2005). Evaluación y Diagnóstico del Comportamiento de las Presas para Control de Sedimentos y Canalizaciones en el Estado Vargas con Motivo de las Lluvias de Febrero de 2005. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) e Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF) de la Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas, Venezuela.

Garini, E., Gazetas, G. y Anastasopoulos, I. (2011). Asymmetric 'Newmark' sliding caused by motions containing severe 'directivity' and 'fling' pulses. [Deslizamiento asimétrico de tipo

"Newmark" causado por movimientos que contienen pulsos de "directividad" y "lanzamiento" severos]. Géotechnique, 61(9), 733–756. https://doi.org/10.1680/geot.9.P.070

Genatios, C. (2010). Vargas: desastre, proyecto y realidad. Trabajo presentado ante la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Mayo.

Instituto de Mecánica de Fluidos y Departamento de Hidrometeorología. (2007, noviembre). Implementación de una red de estaciones hidrometeorológicas y simulación de inundaciones torrenciales en las cuencas de Tacagua, La Zorra y Mamo en el estado Vargas; Estudio de prevención del riesgo de origen hidrometeorológico y geodinámico en las cuencas de Tacagua, La Zorra y Mamo en el estado Vargas (Addendum): Informe final (Tomos I-III). Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Proyecto PREDERES.

Instituto de Mecánica de Fluidos y Centro de Estudios de Desastres Ambientales. (2002, junio). Mapas de amenaza por aludes torrenciales en las zonas del Estado Vargas y el Valle de Caracas definidas en el Proyecto Ávila: Informe final. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.

Larsen, M. C., Wieczorek, GF, Eaton, LS y Torres-Sierra, H. (2001). The rainfall-triggered landslide and flash flood disaster in northern Venezuela, December 1999. [El desastre de deslizamientos de tierra e inundaciones repentinas provocado por las lluvias en el norte de Venezuela, diciembre de 1999]. En Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference (págs. IV-9–IV-16)

Larsen, M. C., Wieczorek, GF y Latrubesse, E. (2006). Geomorphic effects of large debris flows and flash floods, northern Venezuela, 1999. [Efectos geomorfológicos de grandes flujos de detritos e inundaciones repentinas, norte de Venezuela, 1999]. Zeitschrift für Geomorphologie Neue Folge, Supplementband, 145, 147-175.

López, J.L. (2020). Aprendiendo del desastre de Vargas: Una visión crítica y constructiva sobre las medidas adoptadas para La mitigación del riesgo de aludes torrenciales. Trabajo de Incorporación como Individuo de Número, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, Caracas Venezuela. Disponible en: https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/TI_JOSE_LOPEZ.pdf (último acceso: 29 de julio de 2026).

López, J. L., & Pérez-Hernández, D. (2010). El extraordinario evento hidrometeorológico de diciembre de 1999 en el estado Vargas. En J. L. López (Ed.), Lecciones aprendidas del desastre de Vargas: Aportes científico-tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos (págs. 27–42). Fundación Empresas Polar – Universidad Central de Venezuela.

Morassutti, G. F. (2010a). Obras de control de torrentes en el Estado Vargas. Primera parte: Los criterios de diseño y la planificación. En J. L. López Sánchez (Ed.), Lecciones aprendidas del desastre de Vargas: Aportes científico-tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos (págs. 383–398). Universidad Central de Venezuela – Fundación Empresas Polar.

Morassutti, G. F. (2010b). Obras de control de torrentes en el Estado Vargas. Segunda parte: El Plan Vargas 2005. En J. L. López Sánchez (Ed.), Lecciones aprendidas del desastre de Vargas:

Aportes científico-tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos (págs. 399–418). Universidad Central de Venezuela – Fundación Empresas Polar.

Rodríguez, J. A., Urbani, F., Audemard, F., Stockhausen, H., Barboza, L., Rodríguez, S., Melo, L., Cano, V., Suárez, J. C., Castillo, A. y Fournier, H. (2001). El Macizo del Ávila, geología y procesos de degradación ocurridos en diciembre, 1999. En Taller Internacional "Estudios de métodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por terremotos en Caracas (1999–2001)" (Serie Técnica N.º 1, págs. 145–157). Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

Salcedo, D. (2000). Los flujos torrenciales catastróficos de Diciembre de 1999, en el estado Vargas y en Caracas: Características y lecciones aprendidas. Memorias XVI Seminario Venezolano de Geotecnia. 128–175.

Provita. (s.f.). Modelo de elevación digital [conjunto de datos GeoTIFF]. Geoportal Provita. Obtenido el 29 de julio de 2026 de https://geoportal.provita.org.ve/

Urbani, F. (2000). Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre de 1999. En Memorias del XVI Seminario Venezolano de Geotecnia: Calamidades geotécnicas urbanas con visión al siglo XXI (págs. 179-193). Sociedad Venezolana de Geotecnia.

Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. [CoastSat: un conjunto de herramientas en Python, compatible con Google Earth Engine, para extraer las líneas costeras de imágenes satelitales disponibles públicamente]. Environmental Modelling & Software, 122, 104528. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528.

Wieczorek, GF, Larsen, M. C., Eaton, LS, Morgan, B. A. y Blair, J. L. (2001). Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation [Riesgos de aludes de detritos e inundaciones asociados a la tormenta de diciembre de 1999 en la costa de Venezuela y estrategias de mitigación] (Open-File Report 01-144). U.S. Geological Survey.

11. IMPACTOS EN EDIFICIOS DE INGENIER Í A

Tabla 11-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Luis Fargier-Gabaldón	Profesor asociado de la Práctica, University of Notre Dame
Francisco Pinto	Profesor Asistente, Universidad de Chile
Ramón Mata Lemus	Profesor Asistente; Universidad San Sebastián, Chile
Eduardo Núñez	Profesor asociado, Univ. Católica de la Santísima Concepción, Chile
Melanie Dickson	Investigadora asociada en NC State, EE. UU.

11.1 Resumen

Los terremotos del 24 de junio de 2026 tuvieron un impacto considerable en la infraestructura civil. El equipo de campo de GEER y los colaboradores locales realizaron visitas de reconocimiento en La Guaira, Caracas, y otras zonas afectadas para documentar las pruebas de los daños sufridos por edificios, instalaciones esenciales, muros, infraestructura de transporte y otros. Las Figura 11-1 a Figura 11-27 proporcionan evidencia de los diversos impactos observados durante estas visitas.

Se documentaron daños a edificios residenciales y comerciales en varias comunidades costeras de La Guaira, particularmente en Playa Escondida, Caraballeda, Los Corales y Catia La Mar. Entre los casos más significativos de daños severos o colapso se encuentran Residencias Caribemar en Playa Escondida (Figura 11-4), Residencias San Jorge en Playa Escondida (Figura 11-5), Residencias Sol Marino Garden en Catia La Mar (Figura 11-9), Residencias Don Peppino en Los Corales (Figura 11-10), Residencias Costa Azul en Los Corales (Figura 11-11), Centro Comercial IP5 en Caraballeda (Figura 11-12) y Edificio Auromar en Caraballeda (Figura 11-20). Se documentaron daños adicionales a edificios en el Banco de Venezuela, el Edificio Pleamar, el Edificio Remanso II, cerca de 031 Bistro y el Edificio Costa Bella (Figura 11-1 a Figura 11-3, Figura 11-6 y Figura 11-13). Los daños observados incluyen deterioros y derrumbes de elementos de muros y fachadas, así como daños más importantes en partes de estructuras individuales. En el emplazamiento de Residencias Don Peppino, el personal de campo observó diferencias notables en el comportamiento de las estructuras adyacentes, lo que podría justificar una investigación más exhaustiva de las condiciones locales del terreno y las características de los cimientos en la zona.

11.2 Ejemplos seleccionados de evidencia de campo

Las instalaciones esenciales, como los hospitales, también se vieron afectadas durante los terremotos de 2026. Ejemplos de daños pueden verse en las Figura 11-7 y Figura 11-8, que muestran vistas interiores y exteriores del Hospital Dr. Francisco A. Risquez en Caracas, y en la Figura 11-15, que muestra imágenes del Hospital San José en Maiquetía. En este caso, el equipo de campo informó haber observado que los daños se concentraban en las columnas del tercer piso del edificio de cuatro plantas, que, según indicaron, tenía aproximadamente 70 años de antigüedad.

Otro caso que involucró instalaciones esenciales fue el de la Terminal Catia La Mar (Figura 10-14), y entre las observaciones realizadas por los inspectores se encontraban defectos en elementos de pared y desplazamiento de losas de estacionamiento. Según se informa, las vigas y columnas de hormigón no presentaban daños visibles, mientras que los fallos observados podrían estar relacionados con deficiencias en la configuración estructural, las conexiones, el comportamiento del diafragma y los detalles constructivos.

Las observaciones de campo también indican que las condiciones del terreno y la deformación permanente del suelo influyeron en el rendimiento de la infraestructura. Se documentó evidencia de falla del terreno en Pueblo Ferriar, Marina de Caraballeda, Residencia Torre Marina, Urbanismo Hugo Chávez, Avenida José María España, Boulevard Niza y Mamo (Figura 11-16 a Figura 11-19, Figura 11-23, Figura 11-24 y Figura 11-26). En Pueblo Ferriar, el equipo de campo identificó una característica a unos 4 km del epicentro del terremoto de magnitud 7.5 que se extendía unos 380 m en una dirección generalmente paralela al río cercano y que estaba ubicada a pocos metros del cauce del río.

Finalmente, también se observaron daños en muros en varios lugares de Caracas (Figura 11-25), así como fallas de taludes localizadas a lo largo de la carretera Junquito-Colonia Tovar cerca de la frontera entre La Guaira y Caracas (Figura 11-27).



Figura 11-1. Banco de Venezuela, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6158426°, -66.8441623°).



Figura 11-2. Edificio Pleamar, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (b) Imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6128052°, -66.8244692°).



Figura 11-3. Edificio Remanso II, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6128236°, -66.8248012°).

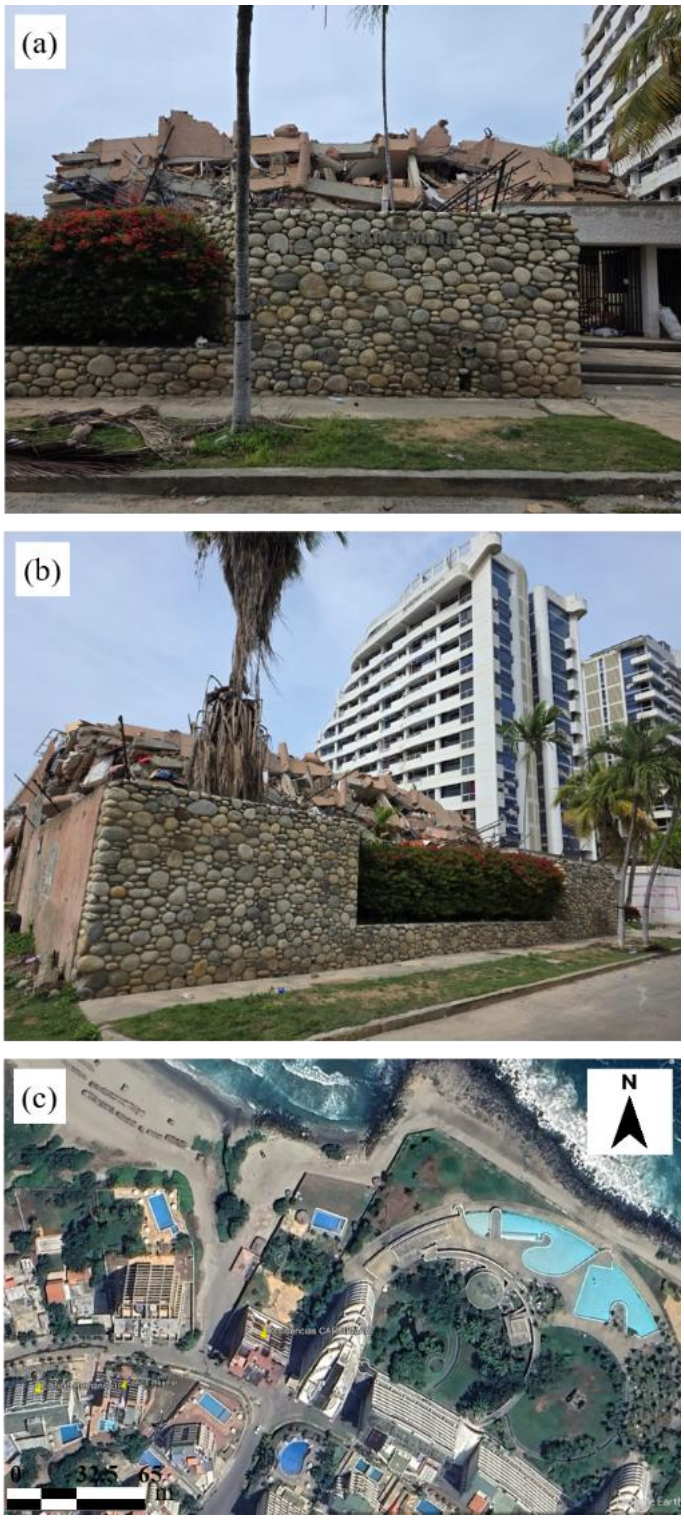


Figura 11-4. Residencias Caribemar, Playa Escondida, Caraballeda: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6130375°, -66.8238775°).



Figura 11-5. Residencias San Jorge, Playa Escondida, Caraballeda: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6120512°, -66.8249326°).

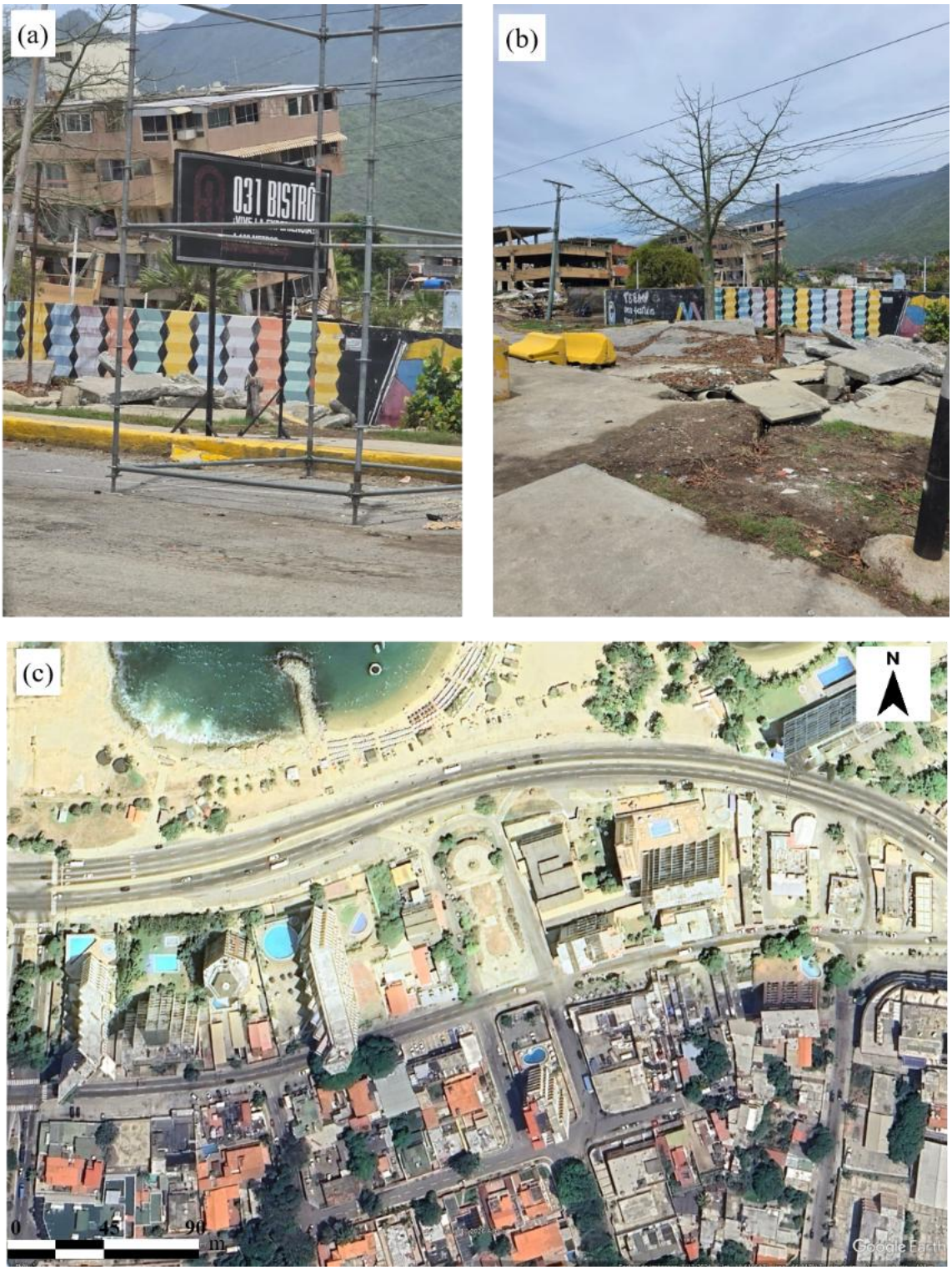


Figura 11-6. En las inmediaciones del Bistro 031, Caraballeda, La Guaira: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Francisco Pinto et al.; (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas aproximadas; 10.6181266°, -66.8481853°).



Figura 11-7. Hospital Dr. Francisco A. Risquez, Caracas: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Javier García et al. (vista exterior); (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; 10.5159638°, -66.9054790°).

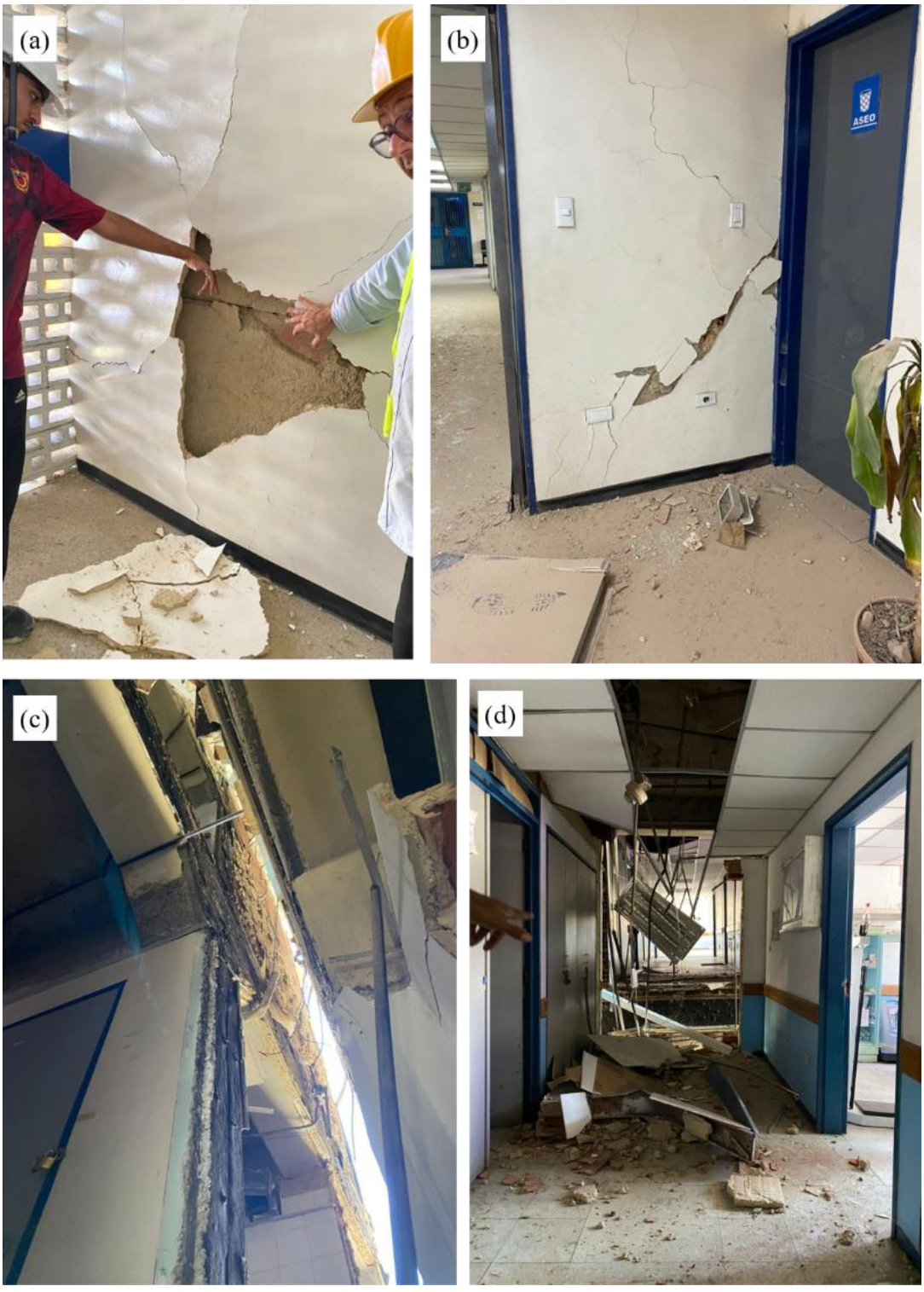


Figura 11-8. Hospital Dr. Francisco A. Risquez, Caracas: (a-d) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Javier García et al. (vista interior)



Figura 11-9. Residencias Sol Marino Garden, Catia La Mar, La Guaira: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Javier García et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del marcador; 10.6085261°, -67.0143629°).



Figura 11-10. Residencias Don Peppino, Los Corales, La Guaira: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Carlos Arcay Iturriza et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6180597°, -66.8567721°).

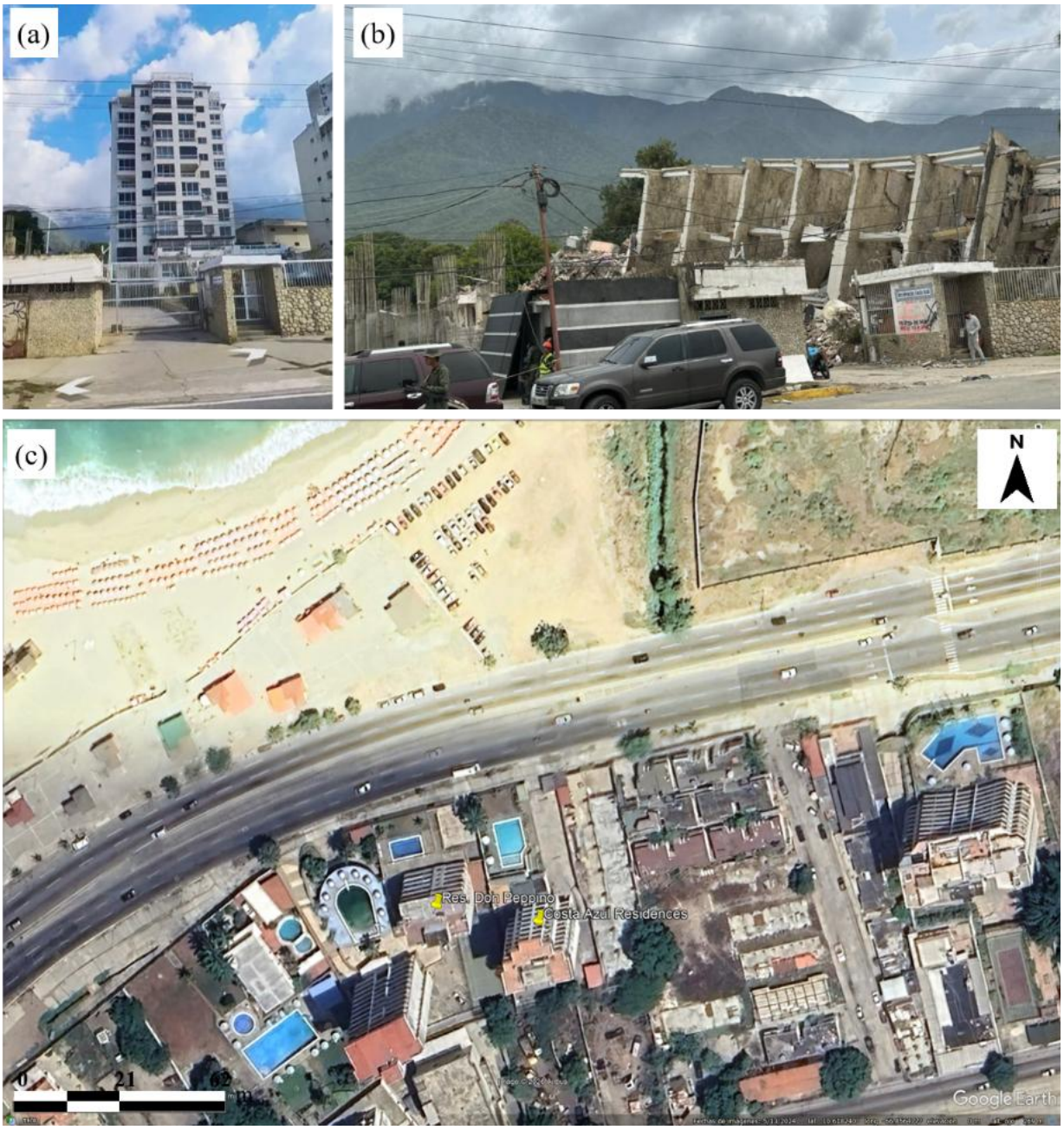


Figura 11-11. Residencias Costa Azul, Los Corales, La Guaira: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Carlos Arcay Iturriza et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6179687°, -66.8564707°).



Figura 11-12. Centro Comercial IP5, Caraballeda, La Guaira: (a) Antes de los terremotos, de Google Earth; (b) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Carlos Arcay Iturriza et al.; (c) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6183576°, -66.8507656°).

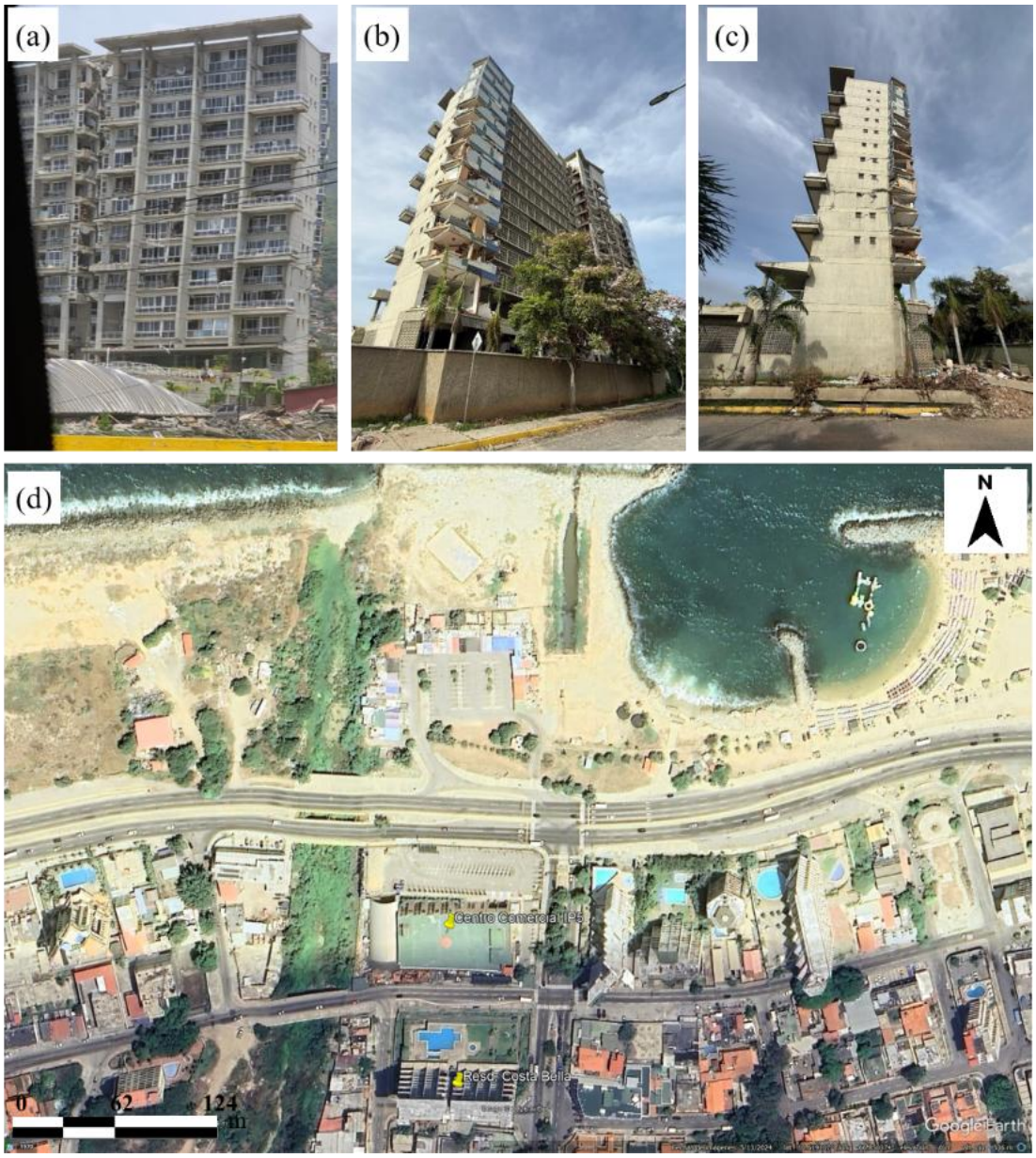


Figura 11-13. Edificio Costa Bella, Caraballeda, La Guaira: (a-c) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Javier García et al.; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador: 10.6176043°, -66.8507197°)

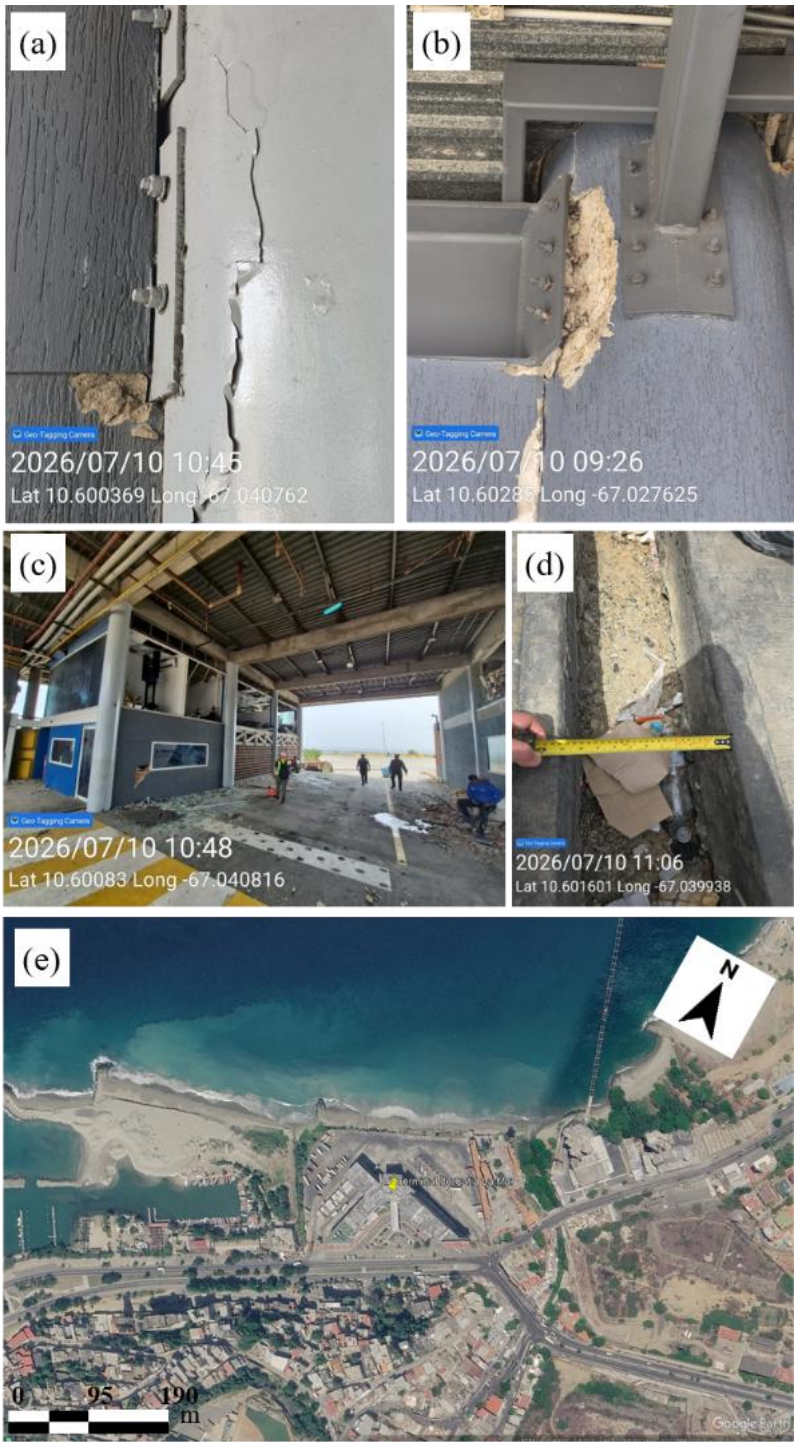


Figura 11-14. Terminal Catia La Mar, La Guaira: (a-d) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Eduardo Núñez, Ramon Mata et al.; (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; 10.600856°, -67.040550°).



Figura 11-15. Hospital San José, Maiquetía, La Guaira: (a-f) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Gustavo Iribarren et al. (vista interior); (g) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del marcador; 10.5958047°, -66.9571705°).



Figura 11-16. Pueblo Ferriar, Yaracuy: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Ramon Mata, Eduardo Núñez et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 21 de octubre de 2023 (coordenadas del marcador; 10.465698°, -68.561734°).

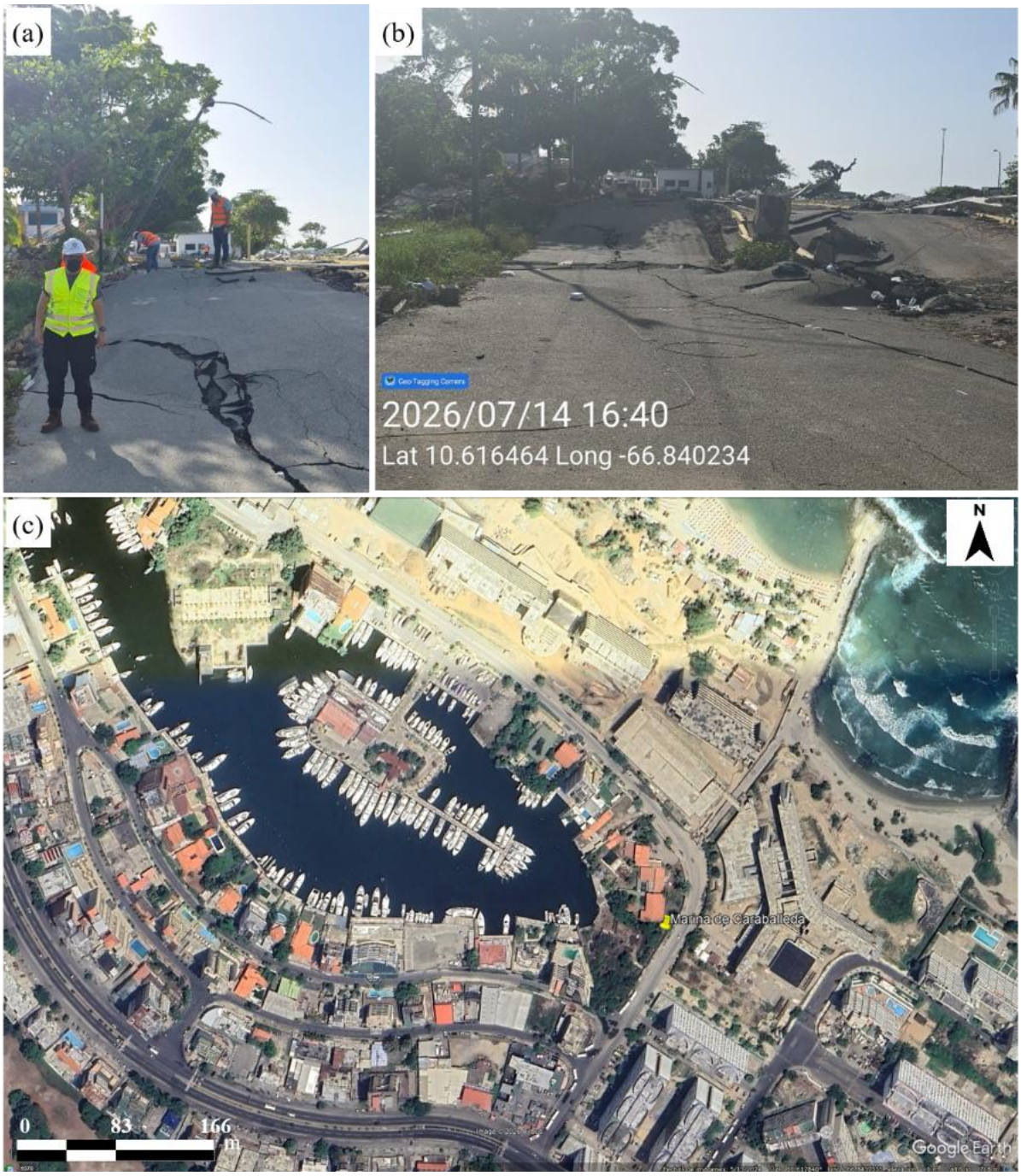


Figura 11-17. Marina de Caraballeda, Caraballeda, La Guaira: (a) Después de los terremotos, fotografía cortesía de Ramon Mata, Eduardo Núñez et al.; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.616464°, -66.840234°).


(a)
E
SE
S
90
120
150
180
127°SE (T) 10°36'42"N, 67°1'7"W 44m (MSL)
15 Jul 2026, 12:12:14
(b)
W
NW
240
270
300
330
289°W (T) 10°36'46"N, 67°1'7"W 7m (MSL)
15 Jul 2026, 12:12:04
(c)
NW
N
NE
E
330
0
30
60
90
28°NE (T) 10°36'40"N, 67°1'9"W 60m (MSL)
RESIDENCIAS
TORRE MARINA
PROPIEDAD
PRIVADA
PROPIETARIOS ACTIVOS
15 Jul 2026, 12:00:10



Figura 11-18. Residencia Torre Marina, Playa Grande, Catia La Mar: (a-c) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier et al.; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del marcador; 10.611680°, -67.018608°; 10.612796°, -67.018606°; 10.611117°, -67.019162°).

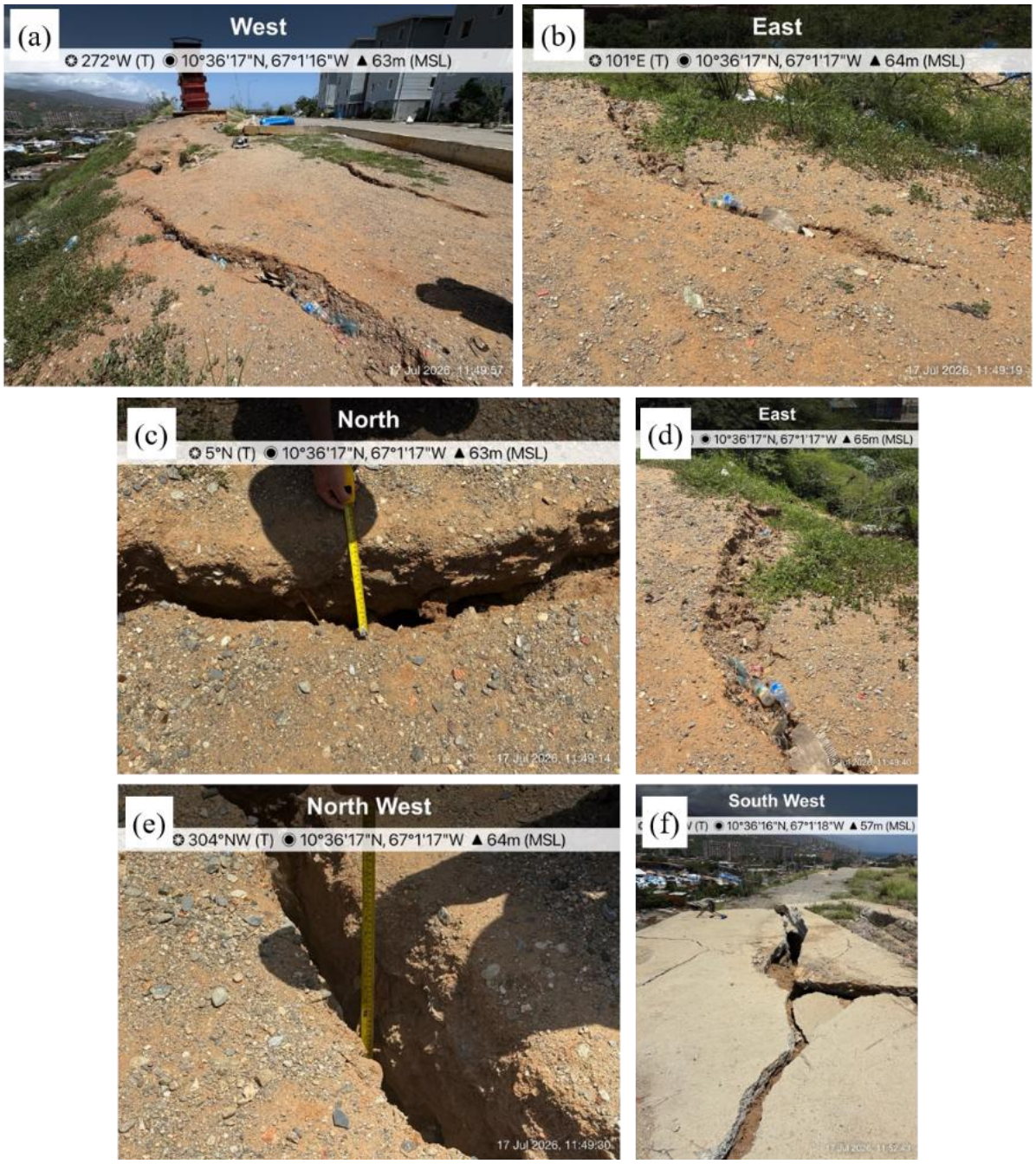

(a)
West
272°W (T) 10°36'17"N, 67°1'16"W 63m (MSL)
17 Jul 2026, 11:49:57
(b)
East
101°E (T) 10°36'17"N, 67°1'17"W 64m (MSL)
17 Jul 2026, 11:49:19
(c)
North
5°N (T) 10°36'17"N, 67°1'17"W 63m (MSL)
17 Jul 2026, 11:49:14
(d)
East
10°36'17"N, 67°1'17"W 65m (MSL)
(e)
North West
304°NW (T) 10°36'17"N, 67°1'17"W 64m (MSL)
17 Jul 2026, 11:49:30
(f)
South West
10°36'16"N, 67°1'18"W 57m (MSL)





Figura 11-19. Urbanismo Hugo Chávez, Catia La Mar, La Guaira: (a-g) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier et al.; (d) Imágenes aéreas de Google Earth del 8 de mayo de 2026 (coordenadas del urbanismo; 10.607224°, -67.023786°)

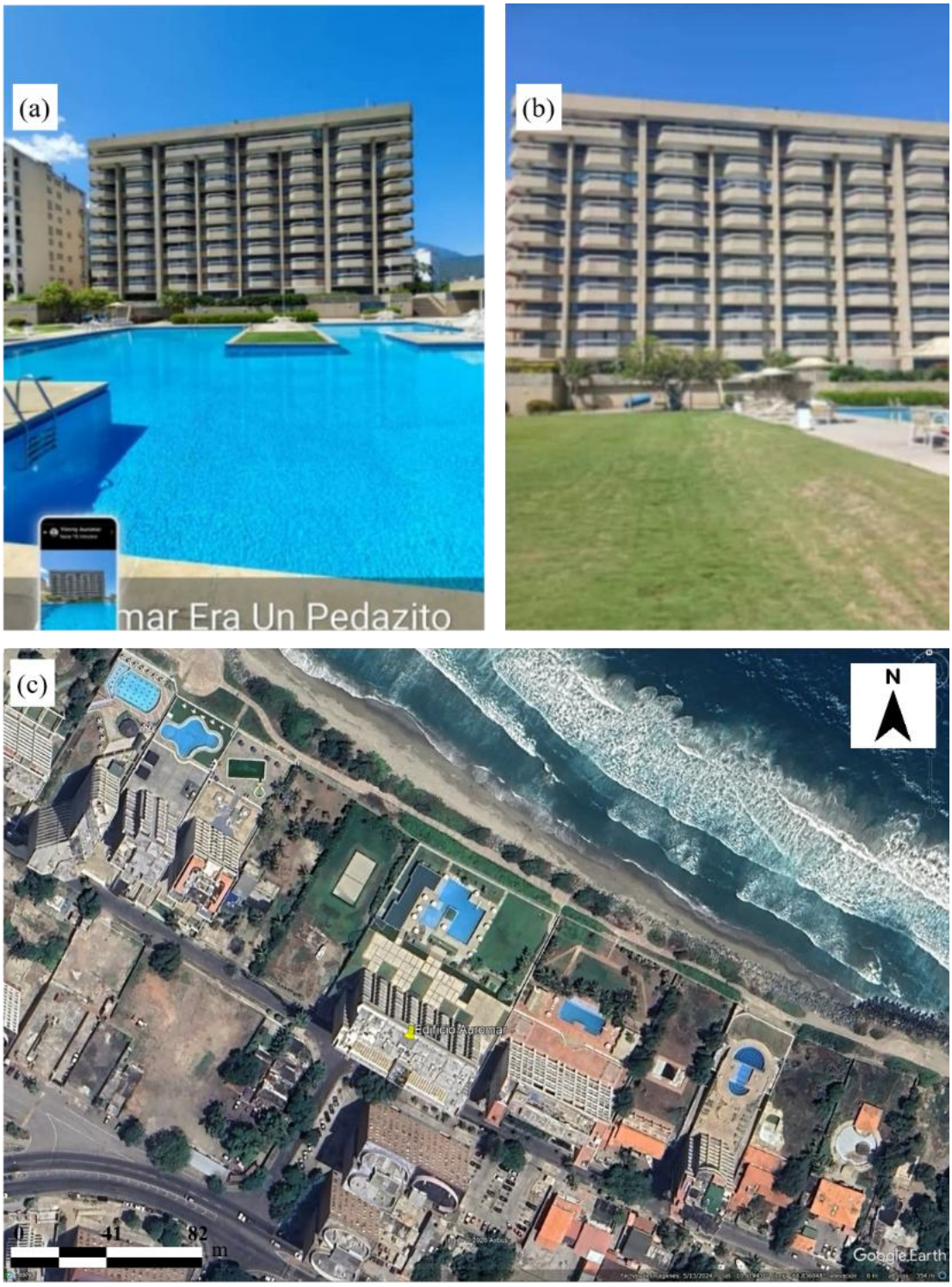


Figura 11-20. Edificio Auromar, Caraballeda, La Guaira: (a,b) Antes de los terremotos (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.6147290°, -66.8363246°).



Figura 11-21 Edificio Auromar, Caraballeda, La Guaira: (a-d) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier (vista exterior) (coords.; 10.6147290°, -66.8363246°).



Figura 11-22. Edificio Auromar, Caraballeda, La Guaira: (a-c) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier (vista interior) (coordenadas del marecador; 10.6147290°, -66.8363246°).



Figura 11-23. Avenida José María España, Caraballeda, La Guaira: (a,b) Después de los terremotos, fotografías cortesía de Luis Fargier; (c) Imágenes aéreas de Google Earth del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; a: 10.618889°, -66.850278°; b: 10,618333 °, -66,855556 °).



Figura 11-24. Blvr. Niza, Caraballeda, La Guaira: (a) Carretera gravemente dañada tras los terremotos, sin viviendas ni otras estructuras, construida en terrenos ganados al mar tras el flujo de escombros de 1999, fotografía cortesía de Luis Fargier; (b) Imagen aérea de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas del marcador; 10.616944°, -66.847778°).

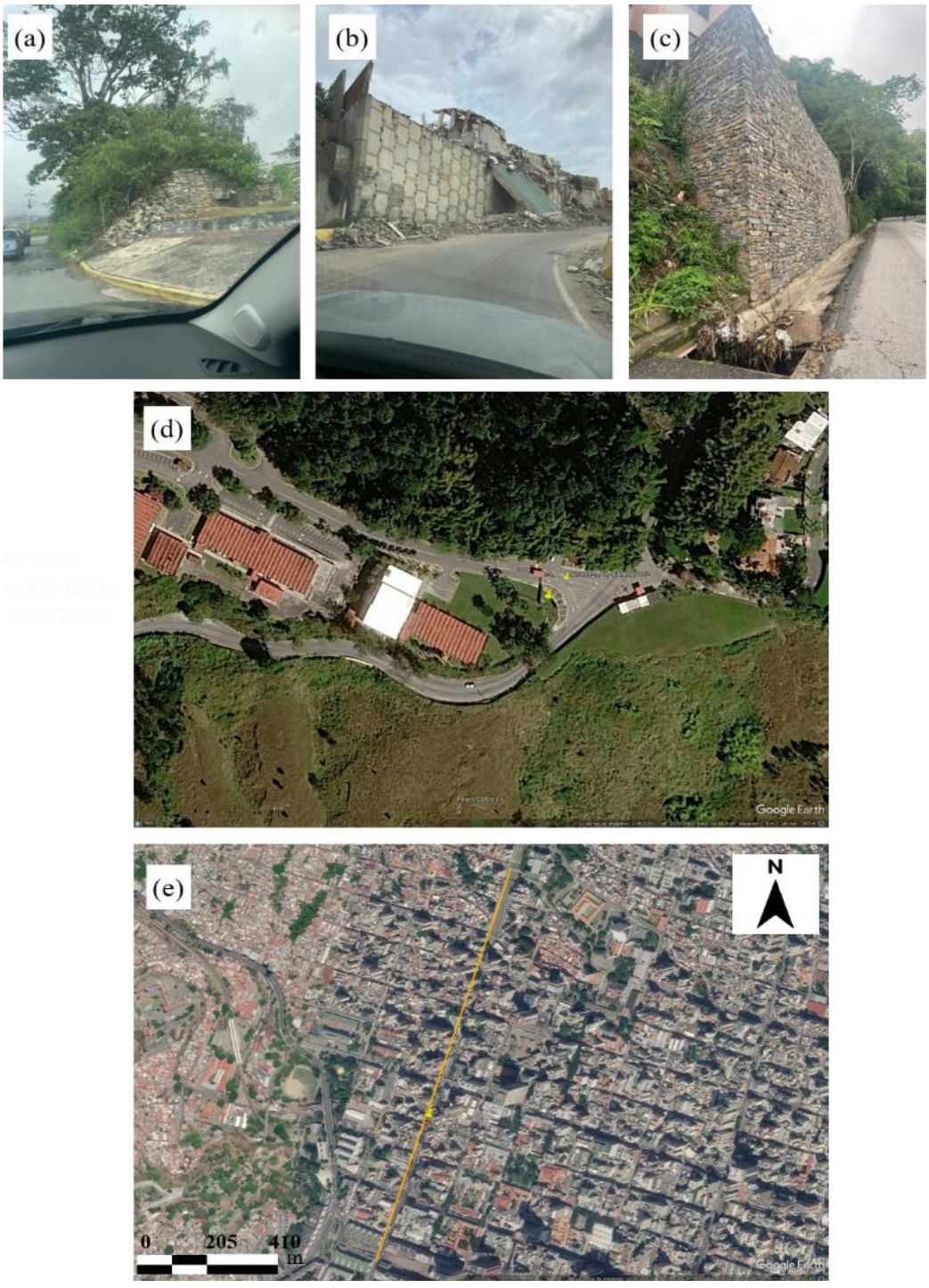


Figura 11-25 Caracas: (a) Falla del muro de contención después de los terremotos, (b-c) muros que no fallaron, fotografías cortesía de Eduardo García; (d) Imagen aérea del caso (a) de Google Earth con fecha del 30 de enero de 2026; (e) Imagen aérea del caso (b) de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; a: 10.4032190°, -66.8807752°; otras referencias.; b: Avenida Baralt).

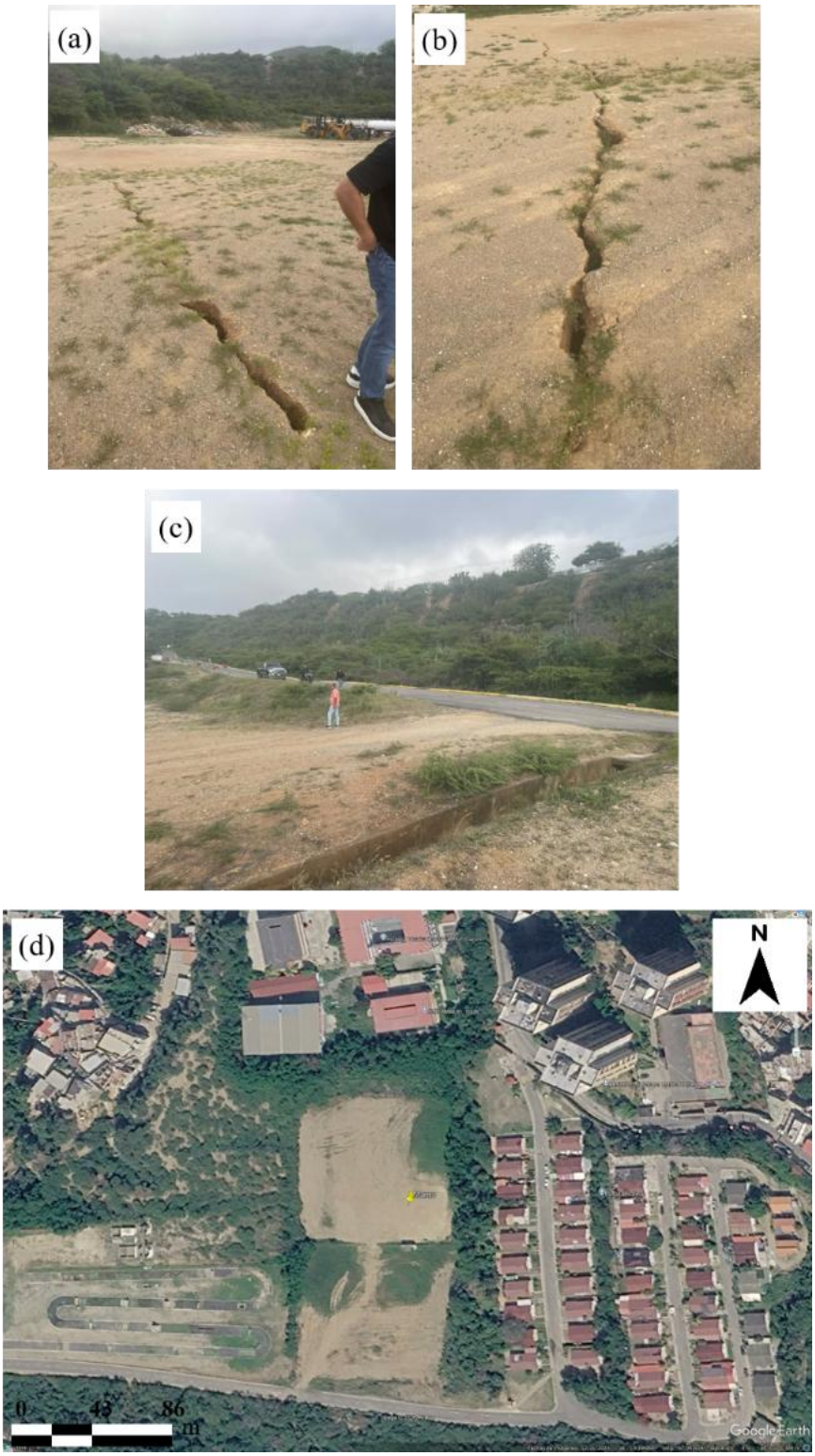


Figura 11-26 Mamo, La Guaira: (a-c) Evidencia de fisuras en el suelo después de los terremotos, fotografías cortesía de Gustavo Iribarren; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; 10.594722°, -67.042222°).

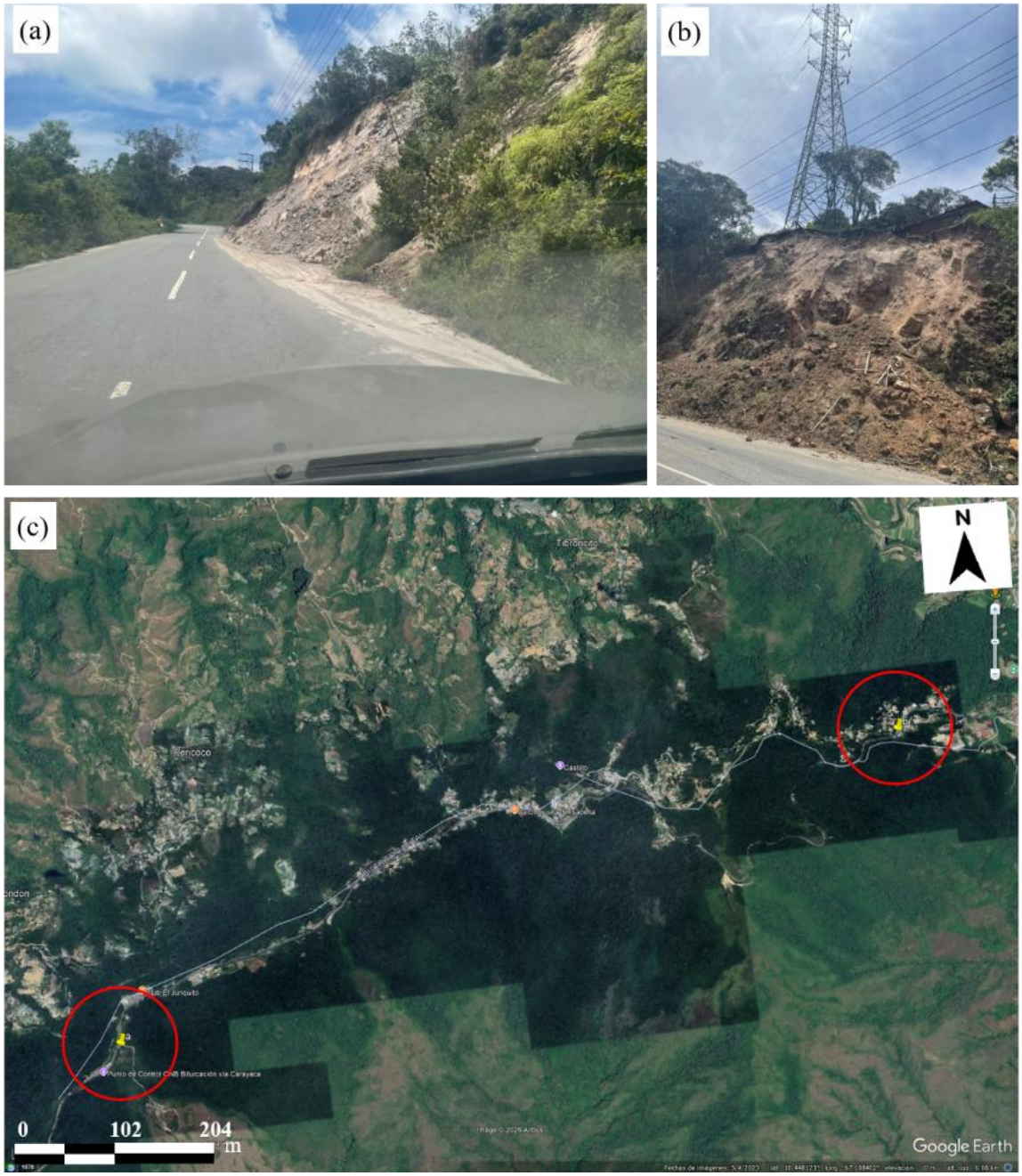


Figura 11-27. Carretera El Junquito-Colonia Tovar, frontera entre La Guaira y Caracas: (a,b) Fallas de taludes localizadas a lo largo de la carretera tras los terremotos, fotografías cortesía de Gustavo Iribarren; (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas del marcador; a: 10.446667°, -67.144444°; b: 10,460000 °, -67,093333 °).

11.3 Interacción estructura-suelo-estructura en un área urbana agrupada alrededor de la avenida Playa Grande, Catia La Mar

El caso de estudio presentado es un gran complejo de viviendas públicas en el sector Playa Grande de Catia La Mar, parroquia Urimare, estado La Guaira, en terreno plano inmediatamente tierra adentro de la carretera costera y a unos 11 km al oeste del puerto de La Guaira (Figura 11-28). El equipo de reconocimiento visitó el complejo los días 13 y 15 de julio de 2026 y regresó el 30 de julio de 2026.

Este complejo se describe aquí porque su disposición es similar a la configuración utilizada en estudios idealizados de interacción entre estructuras vecinas (Luco y Contesse, 1973; Wong y Trifunac, 1975). Varios cientos de edificios similares de cuatro plantas, pero construidos en tres fases diferentes y con la misma distribución, están dispuestos en una cuadrícula regular. Dentro de la misma fila, los edificios están separados por unos cinco metros, una distancia pequeña en comparación con las dimensiones de sus propias plantas; entre filas, la separación es de unos dieciséis metros. Dado que las unidades son similares, aunque con algunas diferencias estructurales, esto se convierte en un interesante caso de estudio para una evaluación más exhaustiva.

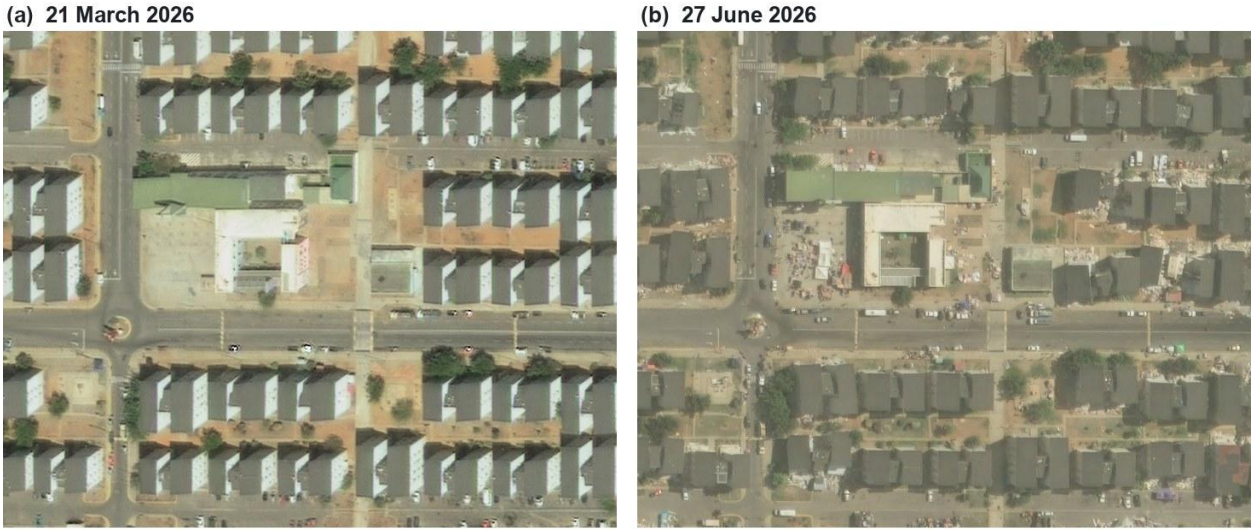


Figura 11-28. Bloque representativo del complejo (a) antes y (b) después de los terremotos, que muestra la cuadrícula regular de las unidades y el espaciado reducido dentro de cada fila. Imágenes: Vantor (Maxar) Datos abiertos, CC BY-NC 4.0 (coordenadas GPS del centro del bloque: 10°36'24"N, 67°01'27"W).



Figura 11-29. Un único módulo visto desde la calle. Las dos alas y el tramo central retranqueado entre ellas dan lugar a la planta en forma de H que se puede ver desde arriba en la Figura 11-28, y las aberturas entre ellas son esquinas entrantes de un mismo edificio en lugar de huecos entre edificios separados. Un módulo vecino se encuentra a pocos metros de distancia, en el borde izquierdo del marco (coordenadas GPS: 10°36'27.6"N, 67°01'19.7"W).

11.3.1 Ausencia de fallas del terreno

No se observaron evidencias de fallas del terreno en ningún lugar dentro del complejo. El equipo no encontró volcanes de arena, material eyectado, fisuras en el terreno ni propagación lateral, ni durante la inspección de campo ni en las imágenes satelitales obtenidas tres días después de los terremotos. El sitio es plano y no presenta ningún frente libre dentro del complejo, por lo que las condiciones que favorecerían la propagación lateral están ausentes en cualquier caso. Los pavimentos, los bordillos y los senderos peatonales entre los edificios permanecían continuos y sin perturbaciones, excepto en los lugares donde habían caído escombros sobre ellos.

No se observaron daños atribuibles a asentamientos diferenciales ni a fallas por capacidad portante. Las fotografías tomadas por miembros del equipo de campo de GEER que muestran el desempeño de los anclajes que conectan la losa de cimentación con el sistema de resistencia a fuerzas laterales en algunas de las unidades se muestran en la Figura 11-30. En algunas unidades no se observaron daños en la losa de cimentación.

La ausencia de daños o alteraciones en el sistema suelo-cimentación no debe interpretarse como evidencia de que el terreno no haya contribuido al patrón de daños observado. Se ha reportado que la interacción inercial entre una estructura y un suelo deformable modifica la respuesta sin necesariamente dejar una evidencia visible en la cimentación (por ejemplo, Veletsos y Meek, 1974; Stewart et al., 1999; NIST, 2012).



Figura 11-30. Fotografías tomadas por miembros del equipo de campo de GEER que muestran el funcionamiento de los anclajes que conectan la losa de cimentación con el sistema de resistencia a fuerzas laterales en algunas de las unidades.

11.3.2 El patrón de daño

La observación que motivó esta sección es que edificios similares muy próximos entre sí, en cada fase, mostraron daños marcadamente diferentes. En la misma fila, era común encontrar una vivienda cuya planta baja se había derrumbado por completo, justo al lado de otras que no se habían derrumbado pero que presentaban diferentes patrones de daños. Este contraste, que se repitió en numerosas ocasiones en todo el complejo, no es lo que cabría esperar si la carga hubiera sido uniforme y los edificios fueran tan similares como parecen ser para un observador externo.

Es posible que los daños no se distribuyan al azar. Las unidades que colapsaron parecen hacerlo en grupos (véase la Figura 11-31, donde se muestra una sección representativa del complejo con

las unidades colapsadas y aquellas que quedaron en pie marcadas en la imagen posterior al terremoto).

En algunas unidades, los daños observados son más significativos en la dirección en la que los edificios están más cerca. Los vecinos dentro de una misma fila están separados por unos cinco metros; los vecinos en filas adyacentes, por 15 metros. Esta observación podría explicarse por la interacción entre estructuras vecinas.

La Figura 11-32 y la Figura 11-33 muestran el aspecto de los dos estados considerados en esta sección: una unidad que perdió su planta baja y se hundió sobre los escombros, y una unidad vecina, a poca distancia, que permaneció en pie con la mampostería de su planta baja muy agrietada.



Figura 11-31. Estado de los daños en las unidades individuales sobre la imagen satelital posterior al terremoto. El derrumbe parece producirse en grupos que siguen las hileras: varias hileras se ven afectadas casi de extremo a extremo, mientras que las hileras adyacentes, a poco más de quince metros de distancia, presentan diferentes patrones de daños. Imagen base: Vantor (Maxar) Datos

abiertos, CC BY-NC 4.0 (coordenadas GPS del área mostrada: 10°36'20"N a 10°36'30"N, 67°01'20"W a 67°01'35"W).

Se ha reportado (por ejemplo, Luco y Contesse, 1973; Lou et al., 2011) que una estructura que vibra sobre un suelo deformable irradia energía nuevamente hacia el suelo, y que el campo de ondas radiado alcanza las cimentaciones de los edificios circundantes, de modo que cada estructura es excitada no solo por el movimiento incidente, sino también por el movimiento que sus edificaciones vecinas le imponen a través del suelo. Cuando los edificios son escasos y están muy separados entre sí, este efecto es despreciable; sin embargo, cuando numerosas estructuras idénticas se ubican unas de otras a distancias inferiores a una longitud de onda, las contribuciones se suman coherentemente y el movimiento dentro del conjunto puede diferir de manera apreciable del movimiento de campo libre. Este es el régimen descrito en la literatura sobre la interacción sitio-ciudad (Gueguen et al., 2002; Kham et al., 2006; Bard et al., 2008), el cual ha sido observado experimentalmente en sitios instrumentados (Gueguen y Bard, 2005) y reproducido en modelos físicos de pequeños conjuntos de edificios (Aldaikh et al., 2015).

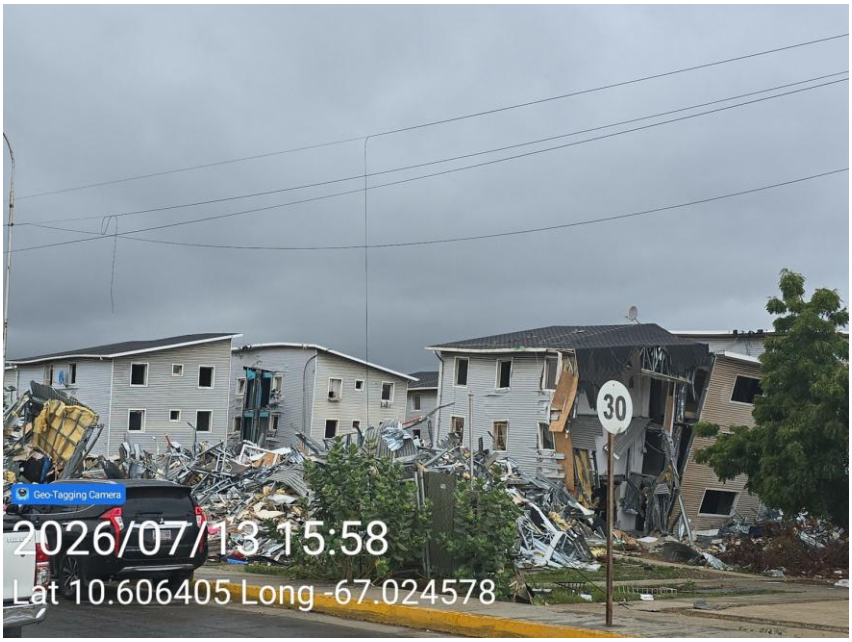


Figura 11-32. Una vivienda que perdió su planta baja. Los pisos superiores se derrumbaron sobre los escombros del piso inferior y permanecen prácticamente intactos, razón por la cual este fallo es difícil de apreciar en las imágenes verticales. Detrás de ella hay unidades del mismo tipo, y la unidad de la derecha ha perdido la esquina de su carcasa (coordenadas GPS: 10°36'23.7"N, 67°01'26.5"W).



Figura 11-33. Una unidad aparentemente del mismo tipo que la que se muestra en la Figura 11-31, pero ubicada a poca distancia, con su primer piso muy agrietado; sin embargo, sigue en pie. Los escombros de la izquierda pertenecen a la unidad derrumbada que se encuentra a su lado (coordenadas GPS: 10°36'23.9"N, 67°01'29.9"W).

11.3.3 Interpretación

No se observaron asentamientos diferenciales ni fallas por capacidad portante en el terreno. Además, los daños entre unidades aparentemente similares parecen estar agrupados en lugar de ser aleatorios, y dicha agrupación se produce en la dirección en la que los edificios se encuentran más cerca unos de otros.

La posible interacción entre estructuras vecinas, transmitida a través del suelo entre cimientos muy próximos, podría ser un factor que contribuya a los patrones de colapso/no colapso observados y debería investigarse más a fondo. Las observaciones del equipo de campo de GEER no pueden confirmar este mecanismo ni descartar otras dos explicaciones que producirían un patrón similar. La variabilidad lateral del suelo bajo un complejo de esta magnitud generaría diferencias de carga espacialmente correlacionadas; y dado que las unidades se construyen secuencialmente a lo largo de una fila, cualquier variación en el sistema estructural (es decir, en el sistema de resistencia a fuerzas laterales de las unidades) o entre lotes de construcción también se manifestaría fila por fila. Lamentablemente, la alineación de los daños con las filas es coherente con las tres explicaciones, y la observación por sí sola no nos permite distinguirlas.

La interacción a través del suelo difiere del caso más conocido de dos edificios que chocan entre sí, y esta distinción es importante en este caso. El contacto entre unidades vecinas es un mecanismo local que redistribuye fuerzas entre las dos unidades involucradas y deja una huella en el punto de impacto; el equipo no encontró dicha huella en este complejo, ni evidencia de que alguna unidad haya chocado con su vecina. En cambio, el acoplamiento a través del suelo es un efecto de campo:

modifica la excitación en todo el grupo y cabría esperar que produjera diferencias entre unidades que nunca entraron en contacto. La organización de los daños a escala de filas enteras es de ese segundo tipo, razón por la cual el equipo considera que el acoplamiento a través del suelo es algo que debe comprobarse en lugar de descartarse, y por la cual las mediciones recomendadas a continuación están dirigidas al movimiento dentro del grupo en lugar de a los edificios únicamente.

11.3.4 Recomendaciones

El complejo residencial constituye un entorno excepcionalmente favorable para estudiar la interacción entre estructuras, precisamente porque muchas unidades aparentemente similares se encuentran muy cerca unas de otras en un terreno que no sufrió fallas, y el equipo recomienda que se vuelva a visitar antes de que la demolición y la reconstrucción eliminen las evidencias.

Una campaña de mediciones de ruido ambiental en todo el complejo residencial sería de particular valor y resulta económica en relación con el conjunto de datos que generaría. Las estaciones ubicadas en el campo libre entre las filas y en las unidades que aún se conservan, a lo largo de transectos que discurren tanto a lo largo de una fila como en dirección transversal a las filas, permitirían establecer las características dinámicas del terreno y de los edificios independientemente de cualquier suposición, y comprobarían directamente si el movimiento dentro del grupo difiere del que se produce fuera de él.

11.4 Panorama general de los códigos de diseño sísmico (1939–2026)

El primer documento que incluyó los efectos sísmicos fue el Código de Diseño del Ministerio de Obras Públicas (MOP) de 1939. Sin embargo, no incluye microzonificación sísmica para todo el país. Los edificios situados cerca de regiones montañosas o cerca de las costas (donde se ubican las principales fallas de Venezuela) debían resistir fuerzas laterales. Se prescribió un coeficiente sísmico, definido como la relación entre el esfuerzo cortante en la base y el peso del edificio, igual a 0.05, basándose en el diseño por esfuerzos admisibles de los materiales.

En 1947 se publicó una nueva versión del código. Contaba con tres zonas sísmicas, A, B y C, con coeficientes sísmicos de 0.10, 0.05 y 0 (sin amenaza sísmica), respectivamente. La Guaira y Caracas fueron asignadas a la Zona A. Ni la versión de 1939 ni la de 1947 del Código MOP especificaban el control de desplazamientos para los edificios.

La mayoría de los edificios afectados por los terremotos del 24 de junio de 2026 fueron diseñados después de 1955. A continuación, se presenta un resumen de varios códigos de diseño.

11.4.1 Ministerio de Obras Públicas (MOP) 1955

Tras el terremoto que azotó El Tocuyo en 1950, se publicó el Código de Diseño de 1955. El país estaba dividido en tres zonas sísmicas. El estado de Sucre y partes de Táchira y Lara, con la mayor amenaza sísmica, fueron designados como zona C. La mayoría de los estados al oeste de la falla de Boconó, y al sur de los estados de Aragua, Carabobo, Miranda, Anzoátegui y Monagas, fueron asignados a la zona sísmica B (que incluye La Guaira y Caracas), con un riesgo intermedio, y el resto del país fue asignado a la zona A (sin amenaza sísmica).

Para la estructura típica con armazón. Los edificios debían diseñarse con un coeficiente sísmico igual a 0.3 / (N+4.5), donde N es el número de pisos. Para las estructuras que resisten las fuerzas

inducidas por terremotos mediante muros, el coeficiente sísmico fue de 0.05. Cabe señalar que los coeficientes sísmicos se basaron en el diseño por esfuerzos admisibles, como en los códigos de 1939 y 1947. En consecuencia, los coeficientes sísmicos deben multiplicarse por aproximadamente 1.5 para poder compararlos con los códigos de diseño sísmico modernos basados en el diseño por resistencia última. Además, cabe señalar que en ocasiones se adoptó una interpretación no oficial de este coeficiente, lo que en algunos casos llevó al diseño de edificios con demandas de fuerza lateral menores a las previstas (Seed, B; Idriss, I; Dezfulian, H; 1970). El Código MOP 1955 no prescribía el control de desplazamientos de las estructuras durante los terremotos.

11.4.2 Ministerio de Obras Públicas 1967

El diseño sismorresistente se incorporó por primera vez a las normativas en 1967, tras el terremoto de Caracas. Poco después del terremoto de 1967, el Ministerio de Obras Públicas, MOP, publicó la "Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas". El país se dividió en tres microzonas: desde la zona 3, con los requisitos más estrictos, hasta la zona 0, definida como la zona sin actividad sísmica. La Guaira fue clasificada como zona 3.

El código tuvo en cuenta las condiciones del sitio, como se muestra en la Figura 11-34 y en la Tabla 11-2. Los edificios que resisten los efectos de los terremotos con pórticos resistentes a momento "dúctiles" se clasifican como Grupo I. El Grupo II incluye sistemas de muros de corte, hechos de hormigón o mampostería, que fueron designados como sistemas frágiles. El Grupo III incluye edificios de tipo péndulo, con una sola columna. En lo que respecta a las condiciones del sitio, se hizo una distinción entre edificios sobre roca (las dos últimas filas de la Tabla 11-2) y edificios sobre depósitos aluviales (la segunda y la tercera fila). La relación de deriva lateral de la estructura se calculó con las fuerzas laterales de la Tabla 11-2, que se limitó al 0.2 % (sin amplificación del desplazamiento lateral). Los análisis estructurales se basaron en las propiedades de la sección transversal bruta. También se establecieron requisitos de detalle para los edificios de hormigón armado, basándose en los modos de falla observados en el terremoto de Caracas de 1967.

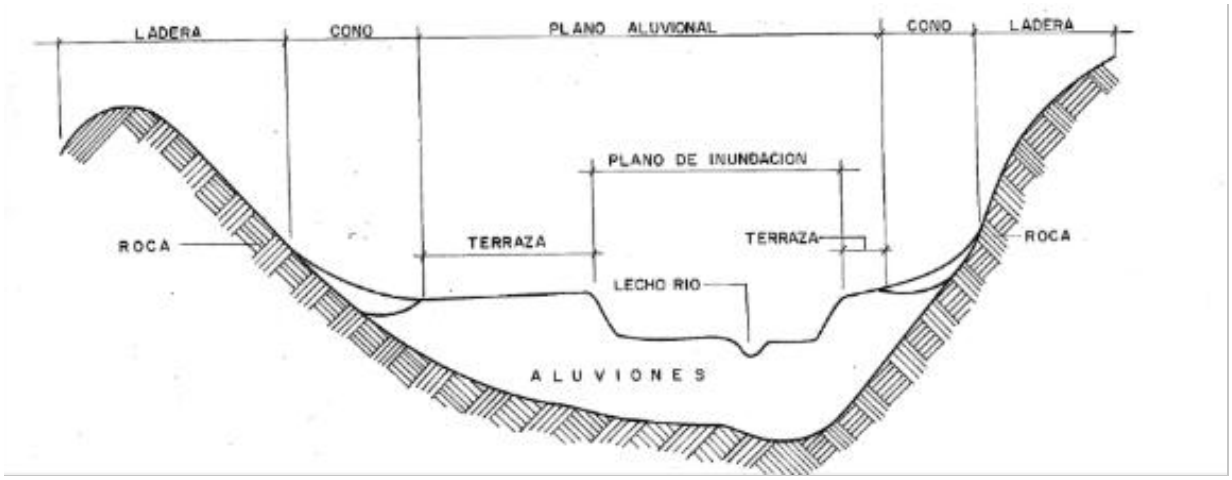


Figura 11-34. Clasificación del sitio (MOP 1965)

Tabla 11-2. Coeficiente de diseño sísmico para la zona 3, MOP 1965 (C = cortante basal de diseño / peso del edificio, basado en el diseño de esfuerzos admisibles)

Tipo de estructura	Valores C			
	Depósitos aluviales		Roca	
	Uso del edificio		Uso del edificio	
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2
I	0,075	0,06	0,06	0,045
II	0,09	0,07	0,11	0,085
III	0,15	0,12	0,15	0,10

Nota: Multiplique por 1.5 para una comparación directa con los códigos de diseño sísmico modernos basados en el diseño de resistencia última.

11.4.3 Norma Venezolana de Edificaciones Antisísmicas (COVENIN 1756-82)

En 1982 se aprobó un nuevo código de diseño. Dividió el país en cuatro zonas diferentes; para la zona 4, donde se ubican Caracas y La Guaira, especificó una aceleración máxima del suelo (PGA) de 0.3g; las zonas 3, 2 y 1 especificaron PGA de 0.22g, 0.15g y 0.08g, respectivamente. El Código 1756-82 presenta un enfoque de espectro de diseño (Figura 11-35). Se propusieron tres perfiles de sitio. Los sitios competentes, designados como S1, incluían rocas o suelos competentes en los que se encuentra roca a una profundidad de hasta 50 m. Un perfil denominado S2, para arenas y gravas de densidad media a alta, y un perfil S3, para suelos granulares sueltos o arcillas. Se requería una evaluación de licuación cuando se encontraban arenas sueltas o arenas limosas dentro de los primeros 20 m. El capítulo 11 trataba sobre el diseño sísmico de sistemas de cimentación e incluía recomendaciones para cimentaciones superficiales y profundas, vigas de cimentación y muros de contención.

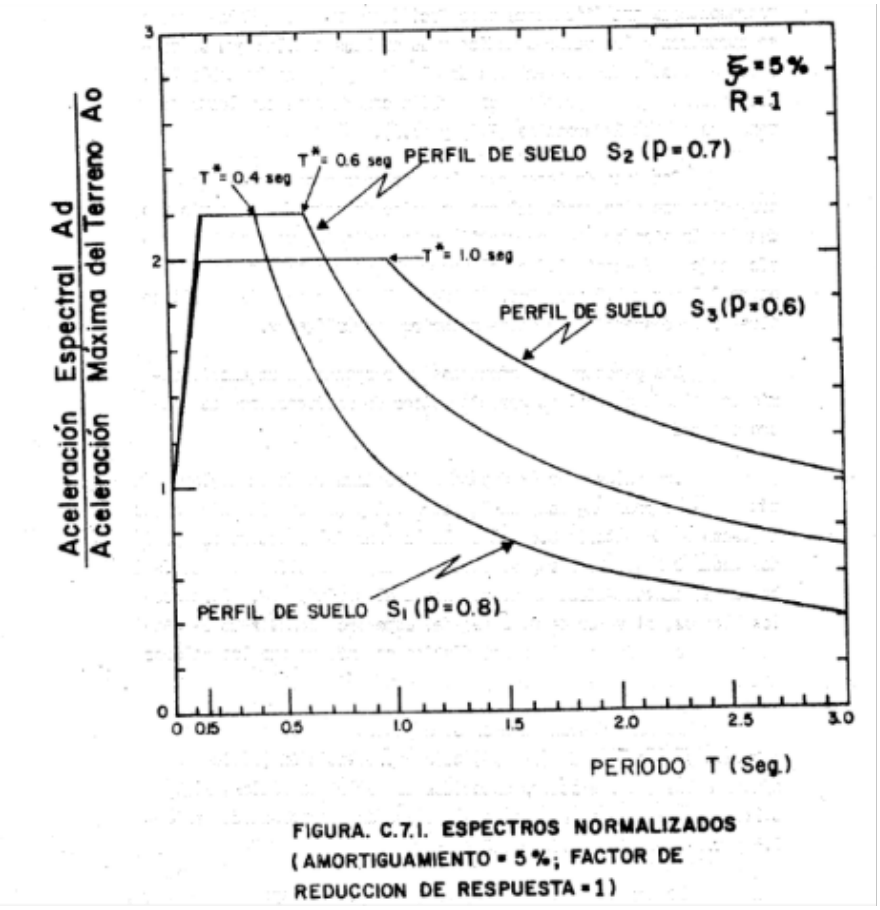


Figura 11-35. Espectro de diseño (CONVENIN 1756-82)

Las estructuras esenciales se clasificaron como Grupo A, y todas las demás estructuras como Grupo B. Se especificaron límites para controlar la deriva lateral de las estructuras de los edificios. Para edificios con componentes no estructurales susceptibles de sufrir daños, la relación límite de deriva lateral fue de 0.015 (Grupo A), y para edificios no susceptibles, la relación fue de 0.024 (Grupo B). Para un edificio residencial o comercial típico susceptible a daños no estructurales, la relación de deriva límite fue de 0.018. Los análisis estructurales se basan en las propiedades de la sección transversal bruta.

11.4.4 Edificaciones Sismorresistentes (COVENIN 1756-01)

Tras el terremoto de Cariaco (1997), se publicó un nuevo Código, el Código COVENIN 1756-01. El país estaba dividido en 8 zonas sísmicas. A la Zona Sísmica 7 se le asignó una aceleración máxima del terreno (PGA) de 0.4g, cerca de Cariaco. A La Guaira y Caracas, en la Zona 5, se les asignó una PGA de 0.3g, como se muestra en la Figura 11-36.

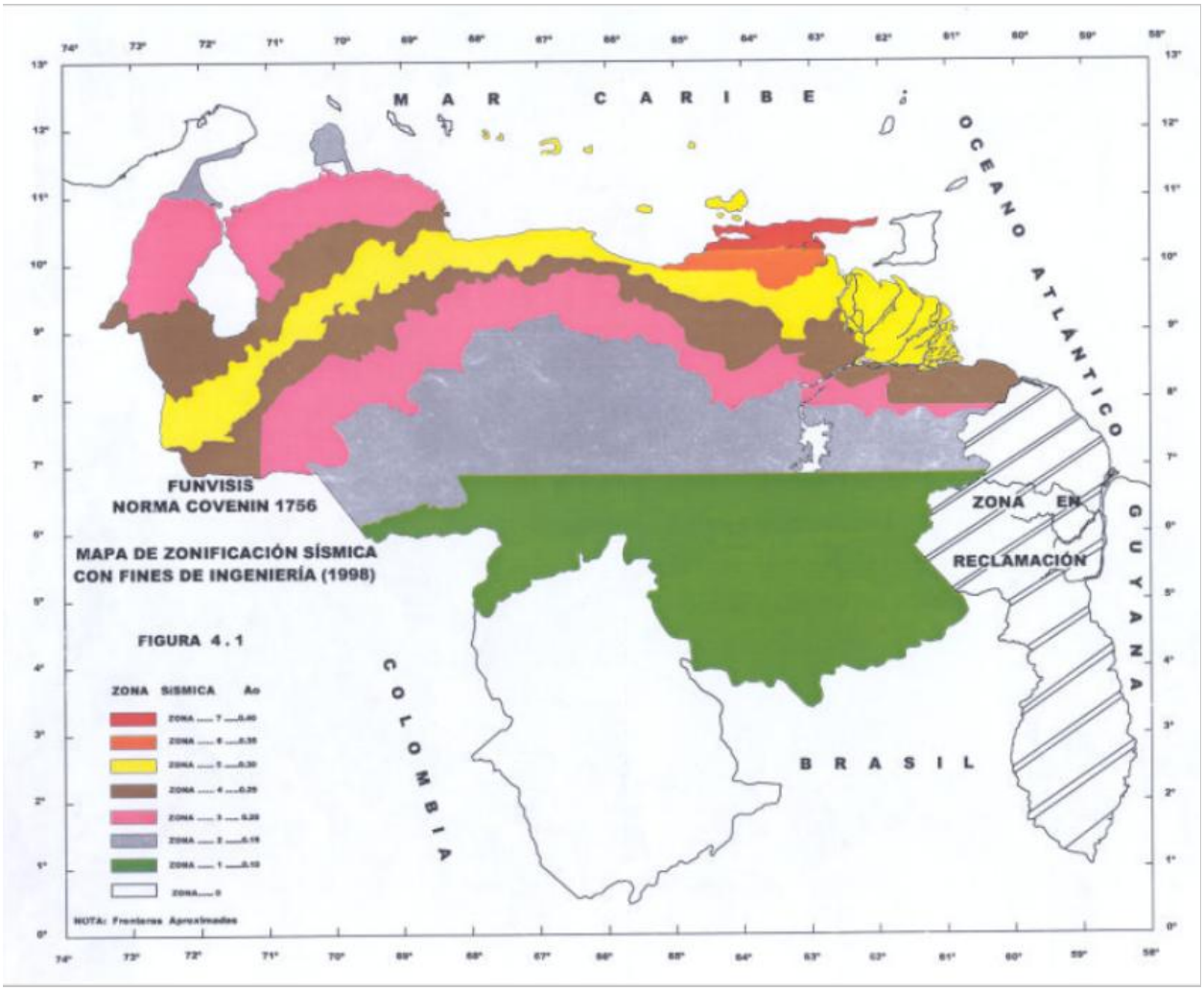


Figura 11-36. Zonas sísmicas de acuerdo con la norma 1756-01 (COVENIN 1756-01)

El Código especificaba tres grupos de edificios. El Grupo A incluye instalaciones esenciales; el Grupo B incluye instalaciones con capacidad para más de 3000 personas o con una superficie superior a 20000 m2; y el Grupo C incluye edificios residenciales y comerciales. El espectro de diseño se muestra en la Figura 11-37. El sitio está dividido en cuatro categorías que también consideraron la profundidad del depósito de suelo (H), como se muestra en la Figura 11-38.

La relación de deriva lateral de los edificios se limitó a 0.012 para el Grupo A (instalaciones esenciales susceptibles de sufrir daños en componentes no estructurales). Para los edificios comerciales o residenciales típicos susceptibles a sufrir daños en sus componentes no estructurales, la relación de deriva lateral se limitó a 0.018, como en el Código 1756-82. Los análisis estructurales se basaron en las propiedades de la sección transversal bruta.

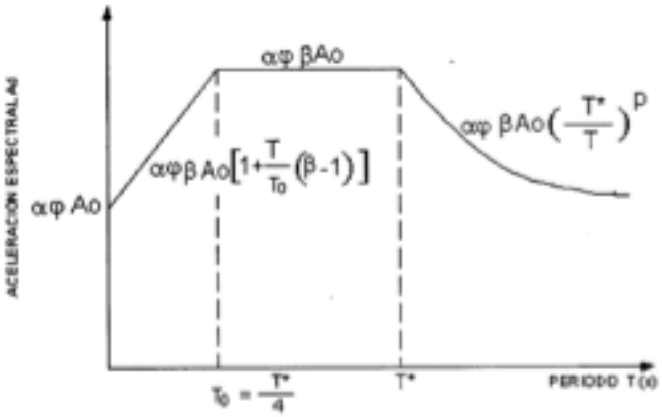


FIGURA 7.1 ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO (R=1)

TABLA 7.1
VALORES DE T*, β y p

FORMA ESPECTRAL	T* (seg)	β	p
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

TABLA 7.2
VALORES DE T+ (1)

CASO	T+ (seg)
R < 5	0.1 (R-1)
R ≥ 5	0.4

(1) $T_0 \leq T^+$

Figura 11-37. Espectro de diseño (1756-01)

Material	Vsp (m/s)	H (m)	Zonas Sísmicas 1 a 4		Zonas Sísmicas 5 a 7	
			Forma Espectral	φ	Forma Espectral	φ
Roca sana/fracturada	>500	-	**S1**	0.85	**S1**	1.00
Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos	>400	<30	**S1**	0.85	**S1**	1.00
		30-50	**S2**	0.80	**S2**	0.90
		>50	**S3**	0.70	**S2**	0.90
Suelos duros o densos	250-400	<15	**S1**	0.80	**S1**	1.00
		15-50	**S2**	0.80	**S2**	0.90
		>50	**S3**	0.75	**S2**	0.90
Suelos firmes/medio densos	170-250	≤50	**S3**	0.70	**S2**	0.95
		>50	**S3**[(a)]	0.70	**S3**	0.75
Suelos blandos/sueltos	<170	≤15	**S3**	0.70	**S2**	0.90
		>15	**S3**[(a)]	0.70	**S3**	0.80
Suelos blandos o sueltos[(b)] intercalados con suelos más rígidos	-	H_1	**S2**[(c)]	0.65	**S2**	0.70

a) Si Ao ≤ 0.15 úsese S4
b) El espesor de los estratos blandos o sueltos (Vsp<170 m/s) debe ser mayor que 0.1 H
c) Si $H_1 \geq 0.25\,H$ y Ao ≤ 0.20 úsese **S3**.

Figura 11-38. Clasificación del sitio (S1, S2 y S3), Código 1756-01

11.4.5 Norma Venezolana de Construcciones Sismorresistentes (COVENIN 1756-19)

El Código COVENIN 1756-19 es una adaptación del ASCE-07 (2016) y es el código vigente en Venezuela. Se especifican mapas de peligros con la PGA y la aceleración espectral de 1 segundo para obtener el espectro de diseño. Para La Guaira, se especifica una PGA de 0.3g y una pseudoaceleración espectral de 0.27g con un período de 1 s sobre roca.

La clasificación del suelo es bastante similar a la especificada en ASCE-07 (2016), excepto por los sitios adicionales AB, BC, CD y DE, que corresponden a la transición entre sitios que se clasifican como A (Vs >1500 m/s), B (1300 m/s > Vs > 800 m/s), C (600 m/s > Vs > 450 m/s), D (200 m/s > Vs > 300 m/s) y E (120 m/s > Vs > 170 m/s). El espectro de diseño sigue el mismo formato que el especificado en ASCE-07 (2016), incluyendo factores para tener en cuenta cada tipo de sitio, la profundidad de los depósitos de suelo y la topografía del sitio.

Las estructuras de los edificios se clasifican en A1 (instalaciones críticas de alto impacto), A2 (instalaciones esenciales), B1 (edificios de alta ocupación, con más de 3000 personas, una superficie superior a 20000 m2 o edificios de más de 20 plantas o más de 60 metros de altura), B2 (edificios residenciales o comerciales típicos) y C (construcciones temporales o instalaciones agrícolas sin ocupación humana permanente).

La deriva lateral calculada de los edificios está limitada por el Código. Por ejemplo, para edificios clasificados como A1, con componentes no estructurales frágiles, la relación de deriva calculada no deberá exceder de 0.008, y para un edificio residencial o comercial típico, la relación de deriva no deberá exceder de 0.012. Las propiedades de la sección se calculan suponiendo que la sección transversal está agrietada.

11.4.6 Consideraciones geotécnicas y limitaciones del código

El tratamiento de los efectos geotécnicos sísmicos ha evolucionado considerablemente en los códigos de construcción venezolanos. Las primeras disposiciones del MOP de 1939, 1947 y 1955 se basaban principalmente en coeficientes de fuerza lateral simplificados y no consideraban explícitamente la respuesta local del sitio, la interacción suelo-estructura, la licuación, la inestabilidad de taludes, la amplificación topográfica o la deformación permanente del terreno. Las disposiciones provisionales de 1967 introdujeron una distinción básica entre depósitos rocosos y aluviales, mientras que las normas COVENIN 1756-82 y COVENIN 1756:2001 incorporaron progresivamente clases de sitio, espectros de respuesta dependientes del suelo, requisitos de cimentación y evaluación del potencial de licuación. En particular, el comentario de 2001 reconoció la susceptibilidad de los suelos granulares sueltos y saturados, especialmente en depósitos jóvenes como los ambientes deltaicos y los rellenos hidráulicos. Sin embargo, estas disposiciones siguieron centrándose principalmente en la clasificación unidimensional del sitio y el diseño convencional de cimentaciones, sin un marco integral para evaluar los efectos combinados de la geomorfología, la deformación permanente del terreno y la respuesta estructural.

La norma COVENIN 1756-1:2019 representa una mejora sustancial, ya que incorpora explícitamente factores relacionados con las condiciones topográficas, la profundidad del lecho rocoso, la evaluación de la inestabilidad de taludes, el potencial de licuación, la proximidad a fallas, la microzonificación y el análisis opcional de la interacción suelo-estructura. La norma asigna factores de amplificación para condiciones topográficas moderadas y severas, y exige evaluaciones de amenaza por inestabilidad de taludes para los sitios ubicados en, sobre o cerca de laderas suficientemente empinadas. También incluye requisitos para cimientos, estructuras de contención, suelos potencialmente licuables, la degradación de la resistencia del suelo tras un terremoto y evaluaciones de estabilidad para clases de sitio especiales. La interacción suelo-estructura puede incorporarse al modelo estructural, aunque su uso se presenta como opcional y no como una evaluación generalmente obligatoria.

A pesar de estos avances, ni las normas anteriores ni la revisión de 2019 proporcionan un procedimiento totalmente integrado para edificios ubicados en abanicos aluviales u otros entornos geomorfológicamente complejos. Los depósitos de abanicos aluviales pueden presentar una marcada heterogeneidad lateral y vertical, contrastes abruptos de rigidez, canales enterrados, lentes granulares sueltas, aguas subterráneas poco profundas y susceptibilidad a asentamientos diferenciales, la licuación, la propagación lateral o la cizalladura del terreno inducida sísmicamente. Las normas tampoco formulan explícitamente escenarios de diseño para depósitos de flujos de detritos, transiciones entre el ápice y el margen del abanico aluvial, propagación lateral hacia frentes de costeros o canales, deformación del terreno relacionada con fallas o la interacción entre el movimiento de laderas y los cimientos de los edificios. Por lo tanto, el cumplimiento de una clasificación de sitio y un espectro de respuesta convencionales puede no representar adecuadamente la demanda sísmica, donde la deformación del terreno, en lugar de la respuesta estructural inercial por sí sola, influye en el desempeño.

La misma precaución se aplica a la interacción suelo-estructura. La flexibilidad de los cimientos generalmente alarga el período efectivo e introduce traslación, balanceo, amortiguamiento por radiación y cambios en el movimiento de entrada de los cimientos. Sin embargo, estos efectos no deben considerarse automáticamente beneficiosos. Mylonakis y Gazetas (2000) demostraron que la interacción suelo-estructura puede reducir o aumentar la demanda sísmica dependiendo de la relación entre la rigidez del suelo, las características de la cimentación, el período estructural, la ductilidad y la forma del espectro de respuesta. En consecuencia, para estructuras cimentadas en terrenos blandos, sueltos, saturados, sensibles, colapsables, muy variables o inclinados, la evaluación sísmica debe ir más allá del espectro mínimo del código e incluir un análisis de la respuesta del terreno específico del sitio, la flexibilidad de los cimientos, la posible deformación permanente del terreno y la posible degradación de la resistencia y rigidez del suelo durante la carga cíclica.

11.5 Agradecimientos

El equipo de campo del GEER fase II agradece a la Universidad Católica de la Santísima Concepción y a la Universidad San Sebastián por su apoyo institucional y por facilitar la misión de reconocimiento de campo y las inspecciones post-terremoto. Los autores también expresan su sincero agradecimiento al Dr. Duilio Marcial y al Dr. Ronald Torres del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV) por su valiosa asistencia técnica y apoyo durante la campaña de campo. También agradecemos especialmente al MSc. Ahmad Idrees de la Universidad de Carabobo y al Ing. Juan Hung por su esencial coordinación logística, asistencia local y apoyo continuo durante todas las actividades de reconocimiento en el terreno.

11.6 Referencias

Aldaikh, H., Alexander, N.A., Ibraim, E. y Oddbjornsson, O. (2015). Two dimensional numerical and experimental models for the study of structure-soil-structure interaction involving three buildings [Modelos numéricos y experimentales bidimensionales para el estudio de la interacción estructura-suelo-estructura que involucra tres edificios]. Computers and Structures, 150, 79-91.

American Society of Civil Engineers (ASCE). (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16) [Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras (ASCE/SEI 7-16)]. Reston, VA

Bard, P.-Y., Chazelas, J.-L., Gueguen, P., Kham, M. y Semblat, J.-F. (2008). Site-city interaction [Interacción entre el sitio y la ciudad]. En: Assessing and Managing Earthquake Risk, Springer, Dordrecht, 91-114.

COVENIN (1982). Norma Venezolana; Edificaciones Antisísmicas. Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN 1756-87. Caracas, Venezuela.

COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:01. Caracas, Venezuela.

COVENIN (2019). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:19. Caracas, Venezuela.

Gueguen, P., y Bard, P.-Y. (2005). Soil-structure and soil-structure-soil interaction: experimental evidence at the Volvi test site [Interacción suelo-estructura y suelo-estructura-suelo: evidencia experimental en el sitio de prueba de Volvi]. Journal of Earthquake Engineering, 9(5), 657-693.

Gueguen, P., Bard, P.-Y. y Chávez-García, FJ (2002). Site-city seismic interaction in Mexico City-like environments: an analytical study [Interacción sísmica entre el sitio y la ciudad en entornos similares a la Ciudad de México: un estudio analítico]. Bulletin of the Seismological Society of America, 92(2), 794-811.

Kham, M., Semblat, J.-F., Bard, P.-Y. y Dangla, P. (2006). Seismic site-city interaction: main governing phenomena through simplified numerical models [Interacción sísmica entre emplazamiento y ciudad: principales fenómenos que la rigen mediante modelos numéricos simplificados]. Bulletin of the Seismological Society of America, 96(5), 1934-1951.

Lou, M., Wang, H., Chen, X. y Zhai, Y. (2011). Structure-soil-structure interaction: literature review [Interacción estructura-suelo-estructura: revisión de la literatura]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31(12), 1724-1731.

Luco, JE y Contesse, L. (1973). Dynamic structure-soil-structure interaction [Interacción dinámica estructura-suelo-estructura]. Boletín de la Sociedad Sismológica de América, 63(4), 1289-1303.

MOP (1939). Norma para el Cálculo de Edificios. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales. Caracas, Venezuela.

MOP (1947). Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios. Caracas, Venezuela.

MOP (1955). Norma para el Cálculo de Edificios. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales. Caracas, Venezuela.

MOP (1967). Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios. Caracas, Venezuela.

Mylonakis, G. y Gazetas, G. (2000). Seismic soil-structure interaction: beneficial or detrimental? [Interacción sísmica suelo-estructura: ¿beneficiosa o perjudicial?]. Journal of Earthquake Engineering, 4(3), 277-301.

NIST (2012). Soil-Structure Interaction for Building Structures [Interacción suelo-estructura en edificaciones]. NIST GCR 12-917-21, Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, Gaithersburg, Maryland.

Seed, H. B., Idriss, IM y Dezfulian, H. (1970). Relationships between soil conditions and building damage in the Caracas earthquake of July 29, 1967 (Report No. EERC 70-2) [Relaciones entre las condiciones del suelo y los daños en los edificios durante el terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967 (Informe n.º EERC 70-2)]. Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.

Stewart, J.P., Fenves, G.L. y Seed, R.B. (1999). Seismic soil-structure interaction in buildings [Interacción sísmica suelo-estructura en edificios]. I: analytical methods. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 125(1), 26-37.

Veletsos, A.S., y Meek, J.W. (1974). Dynamic behaviour of building-foundation systems [Comportamiento dinámico de los sistemas de cimentación de edificios]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 3(2), 121-138.

Wong, H.L., y Trifunac, M.D. (1975). Two-dimensional, antiplane, building-soil-building interaction for two or more buildings and for incident plane SH waves [Interacción bidimensional, antiplanar, edificio-suelo-edificio para dos o más edificios y para ondas SH planas incidentes]. Boletín de la Sociedad Sismológica de América, 65(6), 1863-1885.

12. IMPACTOS EN LAS PRESAS

Tabla 12-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Juan F. Perri	Ingeniero principal en Exponent, EE. UU.
Jenny Ramírez	Ingeniera geotécnica sénior, Geosyntec Consultants, Inc.

Tras los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela, el equipo de GEER coordinó con Pascual Perazzo, presidente del Comité Venezolano de Grandes Presas, quien informó que las autoridades locales no habían observado indicios de daños en las presas de los embalses provocados por los terremotos. Inicialmente, Pascual Perazzo compartió cuatro fuentes de información con el equipo de GEER: (i) un inventario nacional de 93 presas de suministro de agua de MGR Consultants de 2004, que incluye clasificación de peligro, altura, capacidad del embalse y año de construcción; (ii) su documento de conferencia de 2022, Rehabilitación y mantenimiento de presas y diques en Venezuela; (iii) una lista de 10 grandes presas dentro de 100 km del epicentro del Catia La Mar de magnitud 7.5, basada en la base de datos de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD); y (iv) una lista de 76 presas dentro de 700 km del epicentro del Catia La Mar de magnitud 7.5, que incluye año de construcción, río, estado, tipo de presa, cimentación, altura, longitud, capacidad del embalse, propósito, tipo de aliviadero, propietario, diseñador y contratista. La Table 12-2 incluye la lista de estas presas.

Como parte del inventario de presas de 2004, MGR Consultants realizó inspecciones piloto de diez presas de suministro de agua para desarrollar/revisar metodologías de inspección de sitios para presas en Venezuela. Dicho informe estableció categorías de nivel de riesgo basadas en las consecuencias o aguas abajo de las presas. Se asignó la clasificación R1 a las presas ubicadas en zonas sísmicas y con poblaciones aguas abajo, R2 a las presas fuera de las zonas sísmicas con poblaciones aguas abajo, R3 a las presas dentro de las zonas sísmicas y con ganado aguas abajo, y R4 a las presas dentro de las zonas sísmicas sin población ni ganado aguas abajo. Cuatro de las presas inspeccionadas y su distancia al epicentro del terremoto de Catia La Mar de magnitud 7.5 fueron El Tablazo (203 km), Pao La Balsa (64 km), Turimiquire (290 km) y Tule (244 km), y fueron clasificadas como presas de alto riesgo. El equipo remoto de GEER georreferenció estas presas y resumió la información disponible en las figuras Figura 12-2 a Figura 12-5. Dos presas donde la necesidad de reparación fue identificada incluyeron El Cigarrón y El Ermitaño, ubicadas a 217 km y 137 km del epicentro del terremoto de Catia La Mar de magnitud 7.5, respectivamente. Las cuatro presas restantes incluyeron Boconó, El Pueblito, La Tigra y Tucupio.

Table 12-2. Lista de presas georreferenciadas.

Nombre	Tipo	Latitud (°)	Longitud (°)	Distancia al epicentro de San Felipe M7.2 (km)	Distancia a Caracas (km)
Agua Fría	Relleno de tierra	10.391267	-67.182859	149	32
Agua Viva	Relleno de tierra	9.559825	-70.615350	243	416
Atarigua	Relleno de tierra	10.117809	-69.865343	146	324
Boconó-Tucupido	Relleno de tierra	8.892995	-70.042091	233	385
Cabuy[3]	Relleno de tierra	10.169000	-68.526700	27	180
Camatagua	Relleno de tierra	9.817082	-66.944564	187	76
Canoabo[3]	Relleno de roca	10.385700	-68.328600	25	155
Caruachi	Relleno de roca	8.162037	-62.804358	675	517
Clavellinos	Relleno de tierra	10.352146	-63.601058	539	360
Cruz Verde	Relleno de tierra	11.828982	-69.909767	215	357
Cumaripa[3]	Relleno de tierra	10.143200	-68.811300	40	210
Dos Cerritos	Relleno de tierra	9.741583	−69.810677	155	327
Durute[3]	Relleno de tierra	10.218791	−68.724958	28	200
El Cigarrón[2]	Relleno de tierra	9.385859	−65.541617	347	194
El Diluvio	Relleno de tierra	10.621171	−72.417681	420	599
El Ermitaño[2]	Relleno de tierra	10.247287	−70.568524	220	399
El Guamo	Relleno de tierra	10.097681	−63.679161	532	354
El Guapo	Relleno de tierra	10.106224	−65.982123	282	110

Nombre	Tipo	Latitud (°)	Longitud (°)	Distancia al epicentro de San Felipe M7.2 (km)	Distancia a Caracas (km)
El Isiro[2]	Relleno de tierra	11.345735	−69.644423	157	311
El Mamito	Relleno de tierra	10.910940	−70.637245	233	407
El Pao La Balsa	Relleno de roca	9.629996	−68.120007	98	163
El Pilar	Relleno de tierra	10.567202	−63.219188	581	401
El Pueblito	Relleno de tierra	9.196850	−65.580257	351	205
El Tablazo[1]	Relleno de tierra	10.765832	−71.516475	324	501
Guacamayal	Relleno de tierra	9.951370	−65.700175	315	145
Guanapito	Relleno de tierra	9.914923	−66.404793	240	85
Guaremal[3]	Relleno de tierra	10.121813	−69.111302	68	243
Guárico	Relleno de tierra	8.977312	−67.414726	201	177
Guatemala	Relleno de tierra	10.979483	−63.874984	513	334
Guataparo[3]	Relleno de tierra	10.171238	−68.063280	60	131
Guri	Relleno de roca	7.766443	-62.999350	673	523
Inmer Belis Hernández[3]	Desconocido	10.145500	−67.496600	119	75
Jatira Tacarigua[3]	Desconocido	11.052000	−68.400400	73	173
La Asunción	Relleno de tierra	11.027513	−63.868721	514	336
La Becerra	Relleno de tierra	9.031487	−65.311870	385	238
La Estancia	Relleno de tierra	9.422631	−64.793241	424	260
La Honda	Relleno de tierra	7.912625	−71.747049	444	600

Nombre	Tipo	Latitud (°)	Longitud (°)	Distancia al epicentro de San Felipe M7.2 (km)	Distancia a Caracas (km)
La Mariposa	Relleno de tierra	10.408795	−66.927163	177	10
La Pérez	Relleno de roca	10.446399	−66.738021	198	20
La Tigra	Relleno de tierra	10.102635	−65.456369	339	164
La Vueltosa	Relleno de tierra	7.750468	−71.467311	433	583
Lagartijo	Relleno de tierra	10.187544	−66.720337	201	40
Las Majaguas	Relleno de tierra	9.655631	−68.990512	96	245
Los Algarrobos	Relleno de tierra	10.164137	−64.304792	463	286
Los Quediches	Relleno de tierra	9.942064	−70.429505	210	388
Macagua I	Concreto	8.304430	−62.667869	683	523
Macagua II	Concreto	8.303711	−62.678007	682	522
Macarao	Relleno de roca	10.425599	−67.045998	164	17
Machango	Relleno de tierra	10.097699	−70.965011	264	443
Mapara	Relleno de tierra	10.790627	−69.603733	121	294
Masparro	Relleno de tierra	8.836807	−70.102291	242	393
Matícora	Relleno de tierra	10.680352	−70.997018	267	444
Ocumarito	Relleno de tierra	10.098632	−66.800492	194	46
Onia	Relleno de tierra	8.585997	−71.693887	397	563
Pao Cachinche[3]	Relleno de tierra	9.873800	−68.129600	75	150
Pao La Balsa[1,3]	Relleno de tierra	9.580100	−68.149800	102	169

Nombre	Tipo	Latitud (°)	Longitud (°)	Distancia al epicentro de San Felipe M7.2 (km)	Distancia a Caracas (km)
Pedregal	Relleno de tierra	10.877970	−70.152698	181	355
Petaquire	Llenado hidráulico	10.468095	−67.152465	153	26
Pueblo Viejo	Relleno de tierra	10.180332	−71.040555	271	451
Quebrada Seca	Relleno de tierra	10.211011	−66.737312	199	37
San Juan	Gravedad	11.021365	−63.937674	506	328
Santo Domingo	Arco	8.884495	−70.633787	282	443
Taguacita	Arco	10.215820	−66.559425	218	50
Taguaza	Relleno de tierra	10.180370	−66.432029	233	63
Tierra Blanca	Relleno de tierra	9.979751	−67.416662	133	80
Tiznados	Relleno de tierra	9.530189	−67.621148	141	132
Tucupido	Desconocido	9.22744	−65.75257	208	332
Tule[1]	Relleno de tierra	10.874991	−72.125000	391	568
Turimiquire[1]	Relleno de roca	10.174982	−64.297343	464	287
Vista Alegre	Relleno de tierra	9.086577	−64.966048	418	263
Yacambú	Relleno de roca	9.681334	−69.513645	132	297
Zamuro	Relleno de roca	9.928305	−64.772915	415	241

[1] Presa de alto riesgo inspeccionada por MGR (2004); [2] Presa identificada como necesitada de reparaciones según el programa piloto realizado por MGR (2004); [3] Grandes presas a menos de 100 km del epicentro del terremoto de Catia La Mar de **M**7.5
km: kilómetro

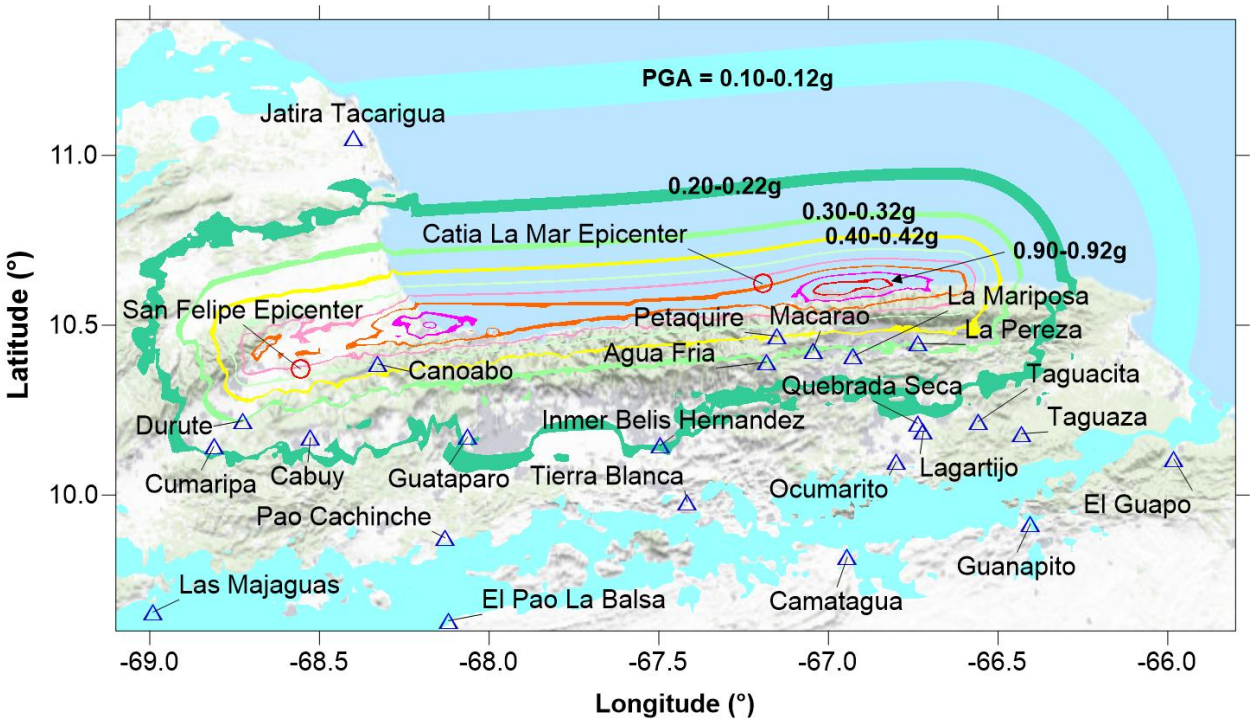


Figura 12-1. Ubicación de las presas dentro de las áreas con mayor PGA (fuente: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/shakemap/intensity). Los epicentros están marcados en rojo.



Name: El Tablazo
Federal Entity: Zulia
Coordinates: 10.765, -71.516
Hazard : R1
Year: 1973
Type: Earthfill
Height: 22.0 m
Reservoir: 4.8 m^3 x 10^6
Seismic Zone: 3

Recommendations (MGR Consultores, 2004):

High priority

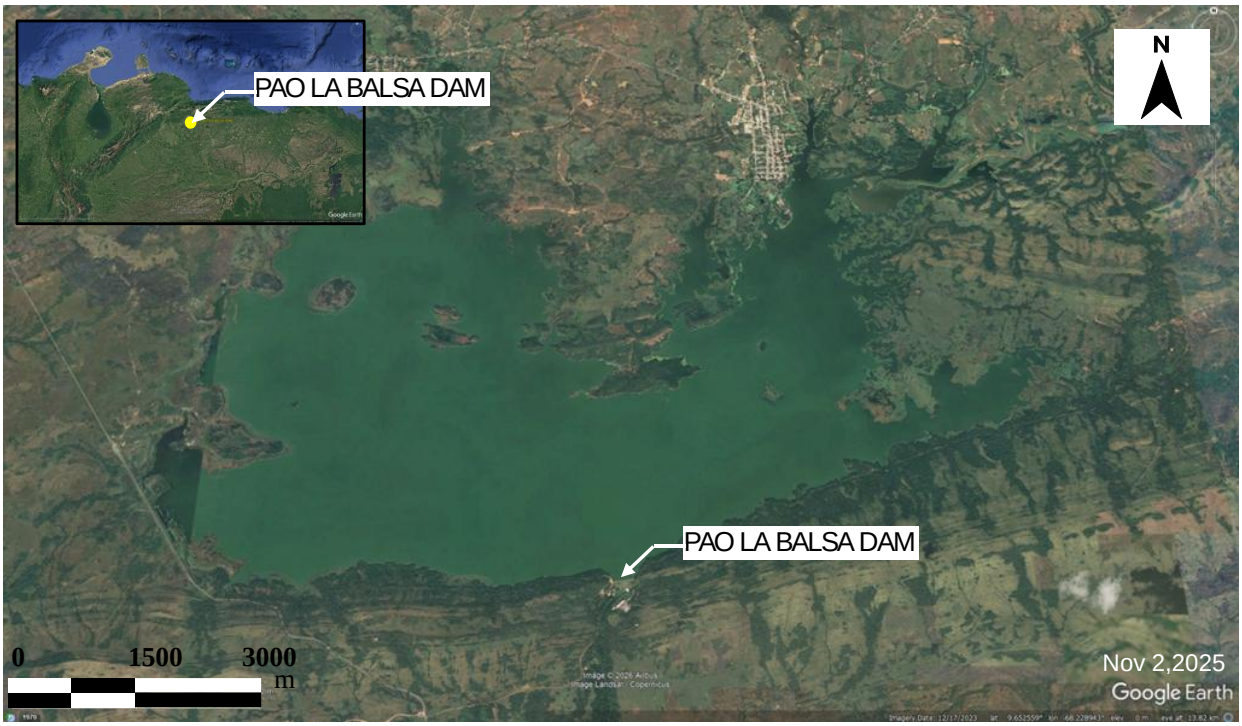
- Upstream embankment repairs
- Downstream embankment repairs

Low priority

- Clean up of embankment and dam crest
- Clean up at the toe of the dam
- Seepage investigation
- Repairs of the pavement on the crest
- Detail inspection of the embankment
- Reestablish instrumentation network
- Evaluation of the dam and its appurtenant structures
- Bathymetric of the reservoir
- Prepare an Operation and Maintenance manual
- Contingency plan
- Seismic evaluation

R1: Inside seismic zone with downstream population; R2: Outside seismic zone with downstream population
R3: Inside seismic zone with downstream crops/livestock; R4: Inside seismic zone with no downstream population

Figura 12-2. La presa de El Tablazo: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit.



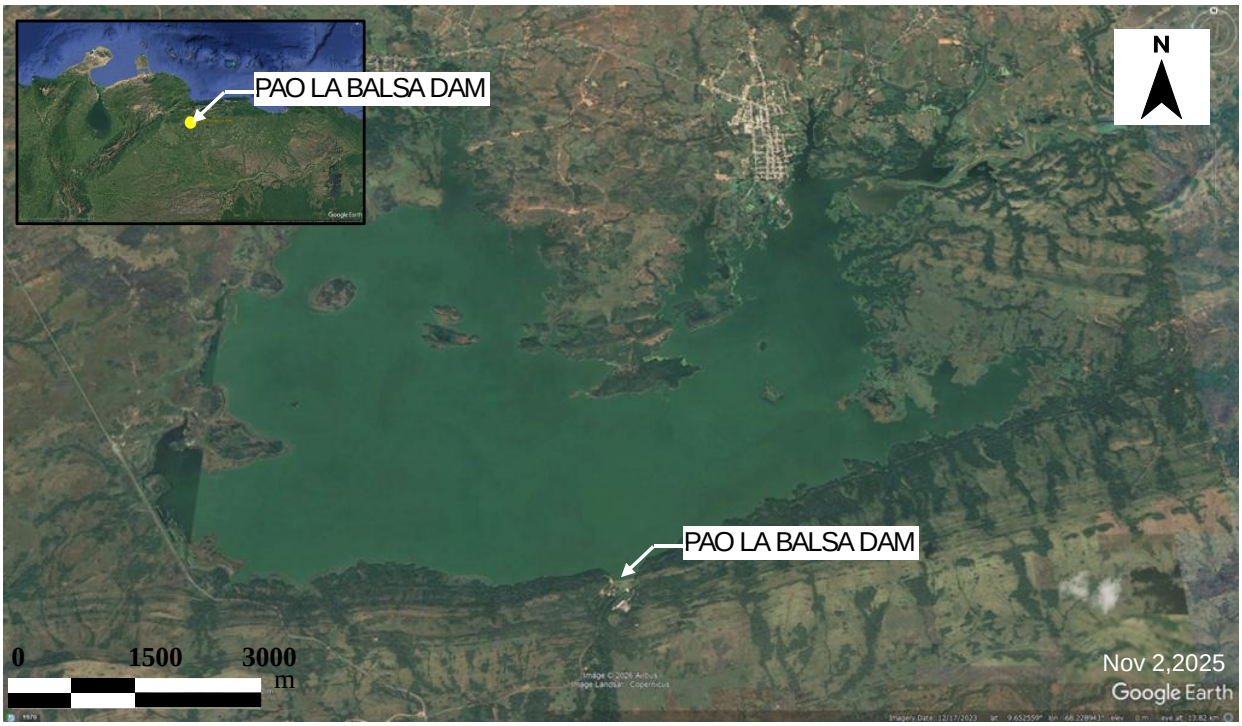
Name: Pao La Balsa
Federal Entity: Cojedes
Coordinates: 9.63°, -68.12°
Hazard : R1
Year: 1978
Type: Earthfill
Height: 37.0 m
Reservoir: 403.00 m^3 x 10^6
Seismic Zone: 3

Recommendations (MGR Consultores, 2004):
High priority
- Additional geotechnical investigation
- Spillway capacity increase

Low priority
- Clean up of embankment and dam crest
- Clean up at the toe of the dam
- Detail inspection of the embankment
- Electromechanical system renewal
- Prepare an Operation and Maintenance manual

R1: Inside seismic zone with downstream population; R2: Outside seismic zone with downstream population
R3: Inside seismic zone with downstream crops/livestock; R4: Inside seismic zone with no downstream population

Figura 12-3. Presa de Pao La Balsa: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit.



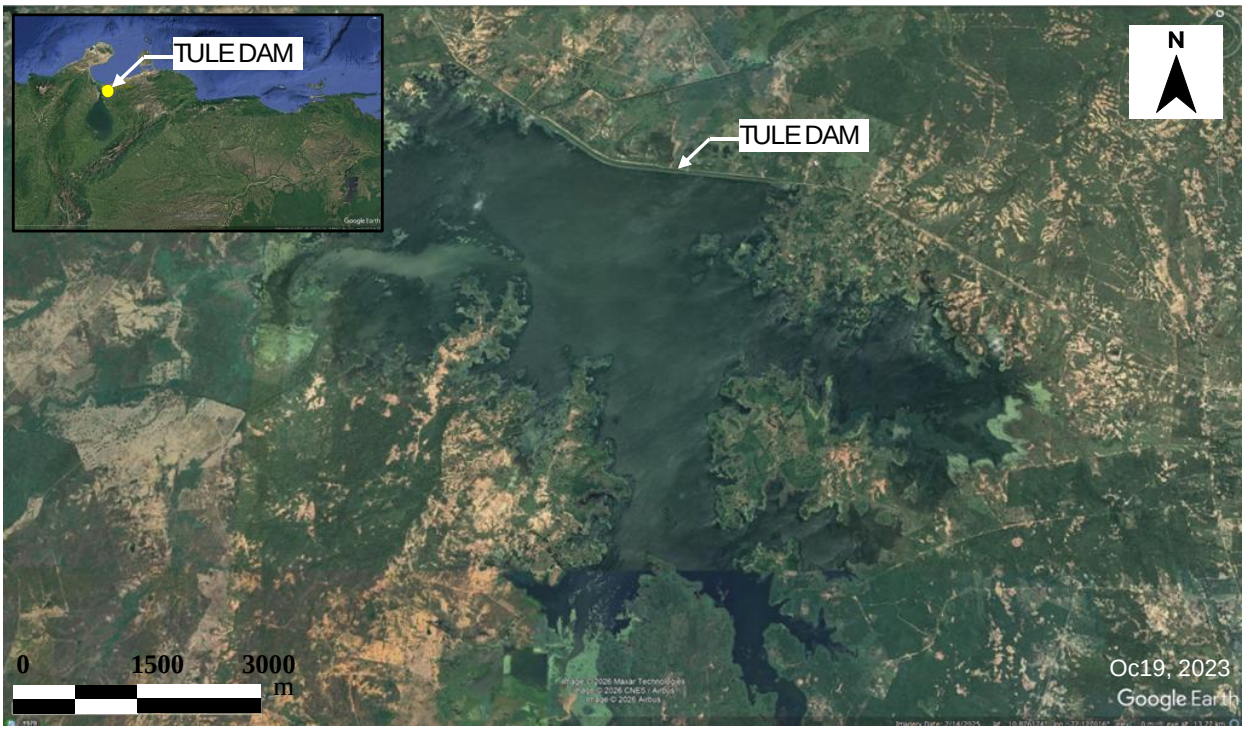
Name: Pao La Balsa
Federal Entity: Cojedes
Coordinates: 9.63°, -68.12°
Hazard : R1
Year: 1978
Type: Earthfill
Height: 37.0 m
Reservoir: 403.00 m^3 x 10^6
Seismic Zone: 3

Recommendations (MGR Consultores, 2004):
High priority
- Additional geotechnical investigation
- Spillway capacity increase

Low priority
- Clean up of embankment and dam crest
- Clean up at the toe of the dam
- Detail inspection of the embankment
- Electromechanical system renewal
- Prepare an Operation and Maintenance manual

R1: Inside seismic zone with downstream population; R2: Outside seismic zone with downstream population
R3: Inside seismic zone with downstream crops/livestock; R4: Inside seismic zone with no downstream population

Figura 12-4. Presa de Petaquire: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit.



Name: Tule
Federal Entity: Zulia
Coordinates: 10.875, -72.125
Hazard : R1
Year: 1971
Type: Earthfill
Height: 18.75 m
Reservoir: 318 m^3 x 10^6
Seismic Zone: 3

Recommendations (MGR Consultores, 2004):

High priority

- Upstream embankment repairs
- Downstream embankment repairs
- Observed settlements
- Additional geotechnical investigation
- Spillway repairs and surroundings cleanup

Low priority

- Clean up of embankment and dam crest
- Clean up at the toe of the dam
- Seepage investigation
- Repairs of the pavement on the crest
- Detail inspection of the embankment
- Reestablish instrumentation network
- Evaluation of the dam and its appurtenant structures
- Bathymetric of the reservoir
- Prepare an Operation and Maintenance manual
- Contingency plan
- Seismic evaluation

R1: Inside seismic zone with downstream population; R2: Outside seismic zone with downstream population
R3: Inside seismic zone with downstream crops/livestock; R4: Inside seismic zone with no downstream population

Figura 12-5. Presa de Tule: Datos y recomendaciones de MGR Consultants (2004) preparados para Fonacit.

12.1 Presas de control de sedimentos

La Guaira alberga una extensa red de estructuras de retención de sedimentos, construidas tras la catastrófica tragedia de Vargas en 1999. El terremoto generó la necesidad de evaluar la integridad estructural y funcional de estas estructuras.

Existen 63 presas de retención de sedimentos distribuidas en 26 cuencas hidrográficas, construidas entre 2000 y 2008. Estas estructuras fueron diseñadas para interceptar la carga de sedimentos, disipar la energía del flujo y proteger a las comunidades urbanas situadas aguas debajo de los aludes torrenciales. Antes de los terremotos de 2026, se sabía que muchas de estas estructuras se encontraban en un estado avanzado de sedimentación, y gran parte de su capacidad original de retención de sedimentos se había agotado. El terremoto generó una preocupación adicional, ya que el temblor del suelo podría haber provocado nuevos movimientos de ladera en la vertiente norte de la Cordillera de la Costa, desestabilizando potencialmente las estructuras o generando nuevas fuentes de sedimentos capaces de movilizarse en futuras tormentas.

12.1.1 Organización y planificación del programa de inspección

El programa de inspección fue concebido y dirigido por el Dr. José Luis López Sánchez. El programa identificó el inventario completo de estructuras que debían evaluarse y estableció un cronograma de visitas de campo con una duración aproximada de seis semanas.

El equipo principal de inspección de campo estaba compuesto por:

- Dr. José Luis López Sánchez (Líder de Programa)
- Ing. Pascual Perazzo (Jefe de Inspección de Campo)
- Ing. Martín Arnal
- Ing. Karen Pereira
- Ing. Carlos Betancourt

La coordinación logística se facilitó mediante la comunicación directa entre Pascual Perazzo y Juan F. Perri, quien actuó como enlace con los colaboradores internacionales del equipo remoto GEER, que estaba llevando a cabo una evaluación paralela que incluía la evaluación de los deslizamientos de tierra provocados por el terremoto. Esta coordinación permitió compartir observaciones de campo, información sobre rutas geográficas y documentación fotográfica relevante para ambos programas.

El alcance de la inspección se centró en 61 estructuras activas de retención de sedimentos en 26 cuencas hidrográficas (dos estructuras en Quebrada Anare habían sido destruidas previamente por las lluvias torrenciales de 2005 y fueron excluidas). Las cuencas hidrográficas se distribuyen a lo largo de la ladera norte de la Cordillera de la Costa, desde Catia La Mar en el oeste hasta el río Anare en el este.

12.1.2 Inspecciones de campo

El cronograma de inspección previsto, establecido por el programa del Dr. López, se muestra en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3. Calendario de inspección de las presas de control de sedimentos

Fecha	Cuenca hidrográfica / Corriente de agua	Ubicación	Nro. de presas
21 de julio	San José de Galipán / San Julián	Macuto / Caraballeda	4
23 de julio	San Julián / Naiguatá	Caraballeda / Naiguatá	2
28 de julio	Camurí Chico / Quebrada Seca	Camurí Chico / Caraballeda	5
30 de julio	Cerro Grande / El Tigrillo	Tanaguarena	4
3 de agosto	Camurí Grande / Migueleno / Cuidado	Camurí Grande / Care	8
5 de agosto	El Cojo / Alcantarilla	Macuto	9
7 de agosto	Guanape / Cariaco / Germán	La Guaira	5
10 de agosto	Osorio / Dos Comadres	La Guaira / Maiquetía	6
12 de agosto	Piedra Azul / Curucutí	Maiquetía	5
14 de agosto	Curucutí / Las Pailas	Maiquetía	6
17 de agosto	Tacagua / La Zorra	Catia La Mar	4
19 de agosto	El Tigre / El Pozo / El Piache	Catia La Mar	3

El 21 de julio de 2026, Pascual Perazzo participó en una inspección de campo de las presas de control de sedimentos ubicadas aguas arriba de las áreas afectadas en La Guaira, a lo largo de los arroyos Macuto y San Julián. Perazzo estuvo acompañado por José Luis López, Martín Arnal, Karen Pereira y Carlos Betancourt. El objetivo de la inspección era determinar si los terremotos del 24 de junio de 2026 habían afectado la integridad de las presas de control de sedimentos y formular recomendaciones para posibles medidas a corto plazo. No se observaron deformaciones provocadas por el terremoto en las presas de control de sedimentos, pero a continuación se describen algunas observaciones sobre su estado.

Las presas de control de sedimentos a lo largo del arroyo Macuto tenían aproximadamente 7 metros de altura, estaban construidas con gaviones y en su mayoría estaban llenas de sedimentos (Figura 12-6). La visita al sitio a lo largo de este arroyo también incluyó una visita al dique de Macuto, donde se observó cierto deterioro en la cara de hormigón (Figura 12-7). En estos lugares,

Perazzo (2026) recomendó un programa de limpieza y una evaluación de su funcionalidad. Cerca del área de Macuto, también se inspeccionó una presa de control de sedimentos con estructura de hormigón y, según se informó, se encontró en buen estado general, después de la remoción de escombros en 2024 (Figura 12-8).



Figura 12-6. Presas de contención de escombros a lo largo del arroyo Macuto, cortesía de Perazzo (2026).



Figura 12-7. Dique de Macuto, cortesía de Perazzo (2026).



Figura 12-8. Presa de control de sedimentos cerca de Macuto, cortesía de Perazzo (2026).

Las presas de control de sedimentos, de aproximadamente 11 metros de altura, situadas a lo largo del arroyo San Julián, fueron construidas de hormigón. La inspección reveló que estas presas de control de sedimentos estaban parcialmente cubiertas de escombros o vegetación, y se recomendó su limpieza en un futuro próximo.



Figura 12-9. Presa de control de sedimentos 1 a lo largo del arroyo San Julián, cortesía de Perazzo (2026).

La inspección de la presa de retención de sedimentos del río Naiguatá (Figura 12-10), realizada el 23 de julio de 2026, encontró que la estructura, compuesta por una secuencia de 8 monolitos de concreto de 16 m de largo, 6 m de alto y 4 m de ancho de base, espaciados 1.5 m entre sí, no mostraba daños atribuibles a los terremotos del 24 de junio. Sin embargo, se informó que su capacidad operativa se veía comprometida por la sedimentación avanzada. Se ha formado un extenso cono de sedimentos aguas arriba, que concentra el flujo a través de solo 2 de las 8 aberturas de descarga disponibles, ambas ubicadas en la margen izquierda. Esta condición de flujo asimétrico favorece la erosión localizada y aumenta el riesgo de desbordamiento. Aguas arriba de la presa, el lecho del río se está utilizando para la extracción y el almacenamiento de agregados de construcción, alterando aún más las condiciones hidráulicas naturales de la zona (Figura 12-11).

Siguiendo el curso del río, la inspección documentó dos áreas adicionales que suscitan preocupación. En el vertedero de toma de Naiguatá (Dique Toma), las Figura 12-12 y Figura 12-13

revelan la presencia de una toma sumergida y una rejilla superficial en el aliviadero central, al tiempo que exponen una erosión significativa en la base del delantal aguas abajo y evidencia de materiales sueltos en la cimentación, una condición que justifica una investigación geotécnica e hidráulica detallada. En el tramo canalizado inferior del río, que se extiende desde el límite norte del Club Puerto Azul hasta el Mar Caribe, el acceso estaba limitado por la acumulación de sedimentos y el crecimiento de vegetación; sin embargo, la inspección de la sección de salida cerca de la desembocadura del río reveló posibles evidencias del evento sísmico. Las Figura 12-14 y Figura 12-15 documentan el agrietamiento, la separación y la fractura de las juntas de los paneles de revestimiento de hormigón, daños que son consistentes con los recientes temblores del terreno.



Figura 12-10. Presa de control de sedimentos en el río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026).



Figura 12-11. Operaciones de agregados de construcción aguas arriba de la presa de control de sedimentos en el río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026).



Figura 12-12. Toma de agua sumergida en Dique Toma, cortesía de Perazzo (2026).



Figura 12-13. Erosión y socavación del aliviadero en Dique Toma, cortesía de Perazzo (2026).



Figura 12-14. Daños en el revestimiento de hormigón cerca de la salida del río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026).



Figura 12-15. Daños en el revestimiento de hormigón cerca de la salida del río Naiguatá, cortesía de Perazzo (2026).

12.1.3 Resumen de las observaciones generales de la inspección y próximos pasos.

Se identificaron varias condiciones de manera consistente en todas las cuencas hidrográficas inspeccionadas que, si bien en gran medida eran preexistentes, son relevantes para la evaluación del riesgo post-sísmico (resumido de los informes de Pascual Perazzo al Ministerio de Obras Públicas, División de Obras Hidráulicas):

- Sedimentación avanzada: Este es el principal problema operativo en todo el sistema de presas de retención de sedimentos. La mayoría de las estructuras inspeccionadas hasta la fecha han alcanzado o están cerca de alcanzar su capacidad máxima de sedimentación, lo que reduce significativamente su función protectora para las comunidades situadas aguas abajo.
- Invasión antropogénica: en múltiples áreas, la intervención humana ha impactado las zonas del lecho del río, incluyendo la extracción y el almacenamiento no autorizados de material para la construcción aguas arriba del dique de Naiguatá, y la ocupación residencial dentro de los corredores de torrentes activos en Macuto y San Julián. Estas condiciones comprometen la eficacia de las estructuras y exponen a los habitantes al riesgo directo de inundaciones y deslizamientos.
- Erosión de las fundaciones: Las compuertas de captación y las bases de las presas de gaviones mostraron evidencia de erosión y socavación aguas abajo, particularmente en el dique de Toma de Naiguatá.
- Inestabilidad de taludes: En las zonas altas de la cuenca hidrográfica, se observó inestabilidad superficial de las laderas en el momento de la inspección. El material movilizado representa una fuente potencial de futura movilización de sedimentos que

podría acelerar la sedimentación o generar flujos de detritos, especialmente dada la sedimentación preexistente en las estructuras de retención aguas abajo.

El programa de inspección sobre el terreno continuará según el cronograma establecido por el Dr. López hasta el 19 de agosto de 2026, abarcando las 39 estructuras restantes en 17 cuencas hidrográficas. Se prevé que el informe técnico final consolidado esté listo a finales de agosto de 2026.

13. REDES DE SERVICIOS ESENCIALES

Tabla 13-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Hailey-Rae Rose	Ingeniera sénior en Exponent, EE. UU.
Ramón Mata Lemus	Profesor asistente; Universidad San Sebastián, Chile
Eduardo Núñez	Profesor asociado, Univ. Católica de la Santísima Concepción, Chile
Francisco Pinto	Profesor asistente, Universidad de Chile
Will Zakka	Investigador de posgrado en University of California, Berkeley, EE. UU.

13.1 Petróleo y gas

Los terremotos del 24 de junio en Venezuela interrumpieron varios componentes de la infraestructura petrolera, gasística y petroquímica del país, aunque los impactos más significativos se concentraron en las instalaciones cercanas a la región epicentral.

Se informó de una gran fuga de petróleo en la refinería El Palito, la refinería más pequeña del país, tras el terremoto (Figura 13-1).[14] Las operaciones de la refinería se vieron interrumpidas debido a un corte de energía eléctrica provocado por daños en las líneas de transmisión que abastecen a la instalación.[15] A partir del 13 de julio de 2026, El Palito reinició su planta de craqueo catalítico fluidizado, mientras que otras unidades operativas se reactivaron gradualmente.[16]

El cercano Complejo Petroquímico de Morón, el segundo complejo petroquímico más grande de Venezuela, sufrió daños, incluyendo el colapso de la infraestructura de almacenamiento y una fuga en un tanque de almacenamiento. Las operaciones en las instalaciones se suspendieron temporalmente mientras se realizaban evaluaciones de daños e inspecciones de seguridad, antes de que se reanudaran las operaciones en el complejo el jueves 25 de junio. [17]

A pesar de estas interrupciones localizadas, las principales regiones productoras de petróleo de Venezuela, como la Faja del Orinoco y el occidente del país, continuaron operando sin daños

[14]MenaLive vía X. (25 de junio de 2026). https://x.com/MenaLive_/status/2070260460645994589

[15] Reuters. (25 de junio de 2026). Damage from quakes limited at Venezuela's oil infrastructure, workers say. [Según los trabajadores, los daños causados por los terremotos en la infraestructura petrolera de Venezuela fueron limitados.] https://www.reuters.com/business/energy/petrochemical-complex-venezuela-restarting-following-quake-firefighters-say-2026-06-25/

[16] Reuters. (July13, 2026). La refinería más pequeña de Venezuela vuelve a poner en marcha su unidad de craqueo catalítico, según informan los trabajadores. https://www.reuters.com/business/energy/venezuelas-smallest-refinery-restarts-catalytic-cracker-workers-say-2026-07-13/

[17] Reuters. (25 de junio de 2026). Según los trabajadores, los daños causados por los terremotos en la infraestructura petrolera de Venezuela fueron limitados. https://www.reuters.com/business/energy/petrochemical-complex-venezuela-restarting-following-quake-firefighters-say-2026-06-25/

significativos ni interrupciones en la producción. Los informes iniciales indicaban que el Complejo Refinador de Paraguaná, el mayor complejo refinador del país, estaba operando a niveles similares a los anteriores a los terremotos. Debido a que estos importantes activos de producción están ubicados bastante lejos de la región más afectada, los impactos estructurales directos fueron limitados.[18]

Algunos medios de comunicación indicaron que, como medida de seguridad preventiva, el sistema de distribución de gas natural que abastece a Caracas fue temporalmente cerrado para reducir el riesgo de fugas e incendios mientras se realizaban inspecciones. Sin embargo, esta información no pudo ser confirmada por nuestros equipos de campo ni por nuestros colaboradores en el lugar. Si bien las refinerías más grandes del país, las terminales de exportación y los principales corredores de oleoductos se ubican lejos de las zonas que sufrieron mayor intensidad sísmica, los continuos cortes de energía eléctrica podrían interrumpir indirectamente las operaciones de producción, refinación y distribución de petróleo al limitar la energía disponible para el bombeo, el procesamiento y la infraestructura de apoyo.[19][20]

[18] Reuters. (25 de junio de 2026). Según los trabajadores, los daños causados por los terremotos en la infraestructura petrolera de Venezuela fueron limitados. https://www.reuters.com/business/energy/petrochemical-complex-venezuela-restarting-following-quake-firefighters-say-2026-06-25/

[19] International Medical Corps. (26 de junio de 2026). Venezuela earthquakes: What you need to know. https://internationalmedicalcorps.org/story/venezuela-earthquakes-what-you-need-to-know/

[20] Rede TVT vía YouTube. (26 de junio de 2026). https://www.youtube.com/shorts/yRkU81fM7_8



https://x.com/MenaLive_/status/2070260460645994589

Figura 13-1. MenaLive publicó en X con el siguiente pie de foto: "Large oil leak at El Palito refinery after yesterday's strong earthquakes in #Venezuela" ["Gran fuga de petróleo en la refinería de El Palito tras los fuertes terremotos de ayer en #Venezuela"]

Hallazgos de reconocimiento del equipo de campo de GEER

Las observaciones realizadas desde la carretera en las instalaciones de Pequiven permitieron identificar daños estructurales en varios edificios industriales. Entre los daños visibles se encontraban el derrumbe de un edificio industrial de hormigón, el derrumbe parcial de un silo de almacenamiento y el derrumbe parcial del tejado de un edificio industrial con estructura de acero. Los daños en el tejado parecían estar relacionados con un problema preexistente, por lo que no está claro si estos daños fueron consecuencia directa de los terremotos. El sistema de soportes de tuberías de la instalación no presentaba signos visibles de daños y parecía seguir funcionando con normalidad, lo que sugiere que el terremoto tuvo un impacto limitado en la infraestructura crítica de procesos del lugar.

13.2 Energía eléctrica

El terremoto provocó interrupciones generalizadas en el sistema eléctrico de Venezuela, especialmente en las regiones central y norte conectadas al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).[21] Diez (10) torres de transmisión en la línea de transmisión Planta Centro-Yaracuy resultaron en la pérdida de 600 MW de la SEN.[22]

[21] Rafael Galicia vía YouTube. (14 de julio de 2026).https://www.youtube.com/watch?v=MA4Fytcxs1g
[22] teleSUR vía Instagram. (14 de julio de 2026). https://www.instagram.com/p/DaxqaThEdSG/

La generación de electricidad también se vio afectada brevemente. La central eléctrica Planta Centro, operada por CORPOELEC, sufrió una parada temporal tras el terremoto, pero se reinició con éxito el 25 de junio después de las inspecciones y la restauración de la infraestructura de apoyo.[23]

La presidenta interina de Venezuela, Delcy Rodríguez, declaró que se habían producido cortes de energía en Caracas y La Guaira,[24] y que había informes de pérdida de servicio de telefonía celular en algunas zonas de Caracas.[25] Hubo informes adicionales de cortes de energía en numerosos estados inmediatamente después del terremoto, incluidos Barquisimeto, Coro, Maracay, Mérida, Nueva Esparta, San Cristóbal y Valencia.[26] En varias localidades, estos apagones agravaron los problemas de fiabilidad ya existentes en la red eléctrica venezolana,[27] lo que dificultó distinguir entre los fallos provocados por el terremoto y las interrupciones crónicas del servicio.

Los trabajos de reconstrucción avanzaron durante los días posteriores al terremoto. Para el 27 de junio, se informó que aproximadamente el 60% del servicio eléctrico se había restablecido en La Guaira.[28] [29] Para el 10 de julio, el restablecimiento del servicio eléctrico aumentó al 96 %, con 21 subestaciones eléctricas completamente restauradas.[30] La continuación del restablecimiento del servicio dependía de la reparación de una torre de transmisión dañada, ubicada en la zona montañosa del estado, lo que demuestra la importancia de la infraestructura de transmisión para restablecer el servicio eléctrico regional.

Hallazgos de reconocimiento del equipo de campo de GEER

En la central eléctrica de Plantacentro, se informó de un fallo en un componente eléctrico tras el terremoto. Entre los daños observados se encontraban el desprendimiento de amortiguadores en espiral en una sección de la planta, así como daños en varios cables de transmisión. El equipo de

[23] Reuters. (25 de junio de 2026). Según los trabajadores, los daños causados por los terremotos en la infraestructura petrolera de Venezuela fueron limitados. https://www.reuters.com/business/energy/petrochemical-complex-venezuela-restarting-following-quake-firefighters-say-2026-06-25/

[24] The New York Times. (25 de junio de 2026). Venezuela Earthquakes Hammer Infrastructure, Making Aid Efforts Harder [Los terremotos en Venezuela devastan la infraestructura y dificultan los esfuerzos de ayuda]. https://www.nytimes.com/2026/06/25/world/americas/venezuela-earthquakes-infrastructure.html

[25]Oregon Public Broadcasting. (26 de junio de 2026). Información que se debe conocer sobre los potentes terremotos de Venezuela. https://www.opb.org/article/2026/06/26/things-to-know-about-venezuela-s-powerful-earthquakes/

[26] International Medical Corps. (26 de junio de 2026). Venezuela earthquakes: What you need to know. https://internationalmedicalcorps.org/story/venezuela-earthquakes-what-you-need-to-know/

[27] The New York Times. (25 de junio de 2026). Venezuela Earthquakes Hammer Infrastructure, Making Aid Efforts Harder [Los terremotos en Venezuela devastan la infraestructura y dificultan los esfuerzos de ayuda]. https://www.nytimes.com/2026/06/25/world/americas/venezuela-earthquakes-infrastructure.html

[28] teleSUR. (27 de junio de 2026). Venezuela Restores 60% of Power in Quake-Hit La Guaira [Venezuela restablece el 60 % del suministro eléctrico en La Guaira, ciudad afectada por el terremoto]. https://www.telesurenglish.net/venezuela-restores-60-power-la-guaira/

[29] TTTLiveOnline vía Facebook. (28 de junio de 2026). https://www.facebook.com/tttliveonline/posts/60-of-electricity-services-invenezuelas-la-guaira-state-have-been-restored-and-/1454013516760881/

[30] teleSUR. (10 de julio de 2016). La Guaira Power Recovery Reaches 96% After Quakes [La Guaira recupera el 96% del suministro eléctrico tras los terremotos]. https://www.telesurenglish.net/la-guaira-power-recovery96-after-quakes/

reconocimiento de campo no observó daños en las torres de transmisión ni en sus elementos de anclaje.

13.3 Agua potable y red sanitaria

Impactos iniciales

Tras el terremoto, se registraron interrupciones en el suministro de agua en varias regiones. Los residentes de Caracas reportaron interrupciones en el servicio de agua potable poco después del evento,[31] mientras que los daños a la infraestructura de agua subterránea provocaron la rotura de tuberías principales que causaron inundaciones localizadas en las calles de las zonas occidentales de la ciudad.[32]

Se registraron interrupciones adicionales en el servicio de agua en algunas zonas de Caracas, Miranda, Falcón, Yaracuy, Zulia y La Guaira, lo que sugiere que los efectos se extendieron más allá del área inmediata donde se produjo el temblor más fuerte.[33] Es probable que las interrupciones reportadas se debieran a una combinación de daños en tuberías, cortes de energía que afectaron las instalaciones de bombeo y cierres preventivos mientras las empresas de servicios públicos evaluaban la integridad del sistema. Según informó el presidente interino, la recuperación de los servicios de agua potable alcanzó el 84% el 10 de julio de 2026.[34]

El sistema de distribución de la presa El Guapo (que abastece a los municipios de Pedro Gual, Páez, Andrés Bello, Eulalia Buroz y Brión en la subregión de Barlovento del estado Miranda) sufrió un total de 91 fallas a lo largo de aproximadamente 75 km de tuberías de agua luego de los terremotos del 24 de junio. Al 14 de julio de 2026, 83 de estas 91 fallas (91%) ya habían sido reparadas mediante una respuesta coordinada que involucró a los municipios locales, y los municipios de Páez y Andrés Bello tenían los servicios de agua totalmente restablecidos. El municipio de Brión había recuperado aproximadamente el 80% de su capacidad de suministro a fecha de 14 de julio de 2026. El mismo día, cuadrillas de reparación continuaban con los trabajos de la reparación de la fractura de un ducto entre los sectores La Gran Parada y Los Canales en el municipio de Páez (Figura 13-2), el cual había afectado a siete comunidades (El Jobo, El Parral, Cangrejal, El Crucero, Los Canales, Las Flores y Catia).[35]

---

[31] Caliber. (25 de junio de 2026). Caracas hit by power, water outages after devastating earthquake [Caracas sufre cortes de electricidad y agua tras el devastador terremoto]. https://caliber.az/en/post/caracas-hitby-power-water-outages-after-devastating-earthquake

[32] The New York Times. (25 de junio de 2026). Venezuela Earthquakes Hammer Infrastructure, Making Aid Efforts Harder [Los terremotos en Venezuela devastan la infraestructura y dificultan los esfuerzos de ayuda]. https://www.nytimes.com/2026/06/25/world/americas/venezuela-earthquakes-infrastructure.html

[33] The New York Times. (25 de junio de 2026). Venezuela Earthquakes Hammer Infrastructure, Making Aid Efforts Harder [Los terremotos en Venezuela devastan la infraestructura y dificultan los esfuerzos de ayuda]. https://www.nytimes.com/2026/06/25/world/americas/venezuela-earthquakes-infrastructure.html

[34] teleSUR. (27 de junio de 2026). Venezuela Restores 60% of Power in Quake-Hit La Guaira [Venezuela restablece el 60 % del suministro eléctrico en La Guaira, ciudad afectada por el terremoto]. https://www.telesurenglish.net/venezuela-restores-60-power-la-guaira/

[35] UltimasNoticias. (14 de julio de 2016). Avanzan trabajos de recuperación del sistema hídrico de Barlovento tras daños por sismos. https://ultimasnoticias.com.ve/mas-vida/avanzan-trabajos-de-recuperacion-del-sistema-hidrico-de-barlovento-tras-danos-por-sismos/



Fuente: Oficina de Prensa del Gobierno del Estado Miranda: http://www.miranda.gob.ve/index.php/avanzan-trabajos-de-ecuperacion-del-sistema-hidrico-de-barlovento-tras-danos-por-sismos/

Figura 13-2. Continúan las labores de restauración en el municipio de Páez para restablecer el suministro de agua a toda la comarca de Barlovento.

En el momento de la elaboración del informe inicial, se disponía de información limitada sobre los impactos en las instalaciones de la red sanitaria (tratamiento de aguas residuales), las estaciones de bombeo o las plantas de tratamiento de agua.

Hallazgos de reconocimiento del equipo de campo de GEER

Las observaciones de reconocimiento indicaron impactos generalmente limitados en la infraestructura de agua potable y red sanitaria, con daños concentrados en áreas localizadas. En la planta de tratamiento de aguas residuales de La Mariposa, en Carabobo, se observaron grietas en la mampostería de algunos edificios, pero la instalación se mantuvo en pleno funcionamiento. De manera similar, la planta de tratamiento de aguas residuales de Los Guayos (cerca o en las orillas del lago Valencia) no experimentó interrupciones operativas ni evidencia de fenómenos geotécnicos inducidos por el terremoto, como licuación, asentamiento o colapso. El suelo predominante en esa zona era limo de baja plasticidad (ML). En otro punto, se observó una desalineación en la sección transversal de los canales de drenaje de aguas pluviales a lo largo de la carretera de acceso al aeropuerto de Valencia. En La Guaira, por la Avenida José María España, se evidenció rotura y deformación generalizada de los canales de drenaje longitudinales y transversales en la zona de Caraballeda. Se observaron daños adicionales en la infraestructura del puerto deportivo de Caraballeda, donde las redes esenciales de alcantarillado, agua y electricidad sufrieron daños.

13.4 Transporte

Impactos iniciales

Tras los terremotos, la infraestructura de transporte sufrió importantes daños, con repercusiones en el transporte aéreo, los puertos y los sistemas marítimos, las carreteras y el transporte público.

Se produjeron graves daños en el terreno y en las estructuras del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar (Informe de Reconocimiento Virtual de NZSEE, Informe VERT de EERI). Los daños en el terreno a lo largo de la pista impidieron que las aeronaves operaran, con la excepción de los C-17 y los MV-22 Osprey proporcionados por los Estados Unidos (Comando Sur de los Estados Unidos, 2026). La pista de aterrizaje se habilitó para aeronaves militares convencionales y de ayuda humanitaria a los tres días de los terremotos. Las instalaciones de la terminal sufrieron daños estructurales importantes, incluyendo la pérdida de soporte de grandes vigas de hormigón prefabricado y el derrumbe de muros de relleno. Como consecuencia, las instalaciones quedaron fuera de servicio inmediatamente después del terremoto, lo que afectó significativamente la logística de emergencia y el tráfico aéreo comercial. A fecha de 24 de julio de 2026, las operaciones de vuelos comerciales en el aeropuerto permanecen suspendidas.

El ministro de Transportes, Francisco Garcés, afirmó que los daños del aeropuerto son "totalmente reparables" y que se espera que el 85 % esté restaurado en los próximos cuatro meses y que la restauración completa esté prevista para diciembre de 2026. Se prevé que las operaciones comerciales se reanuden gradualmente a partir del 24 de agosto, una vez finalizados los trabajos de repavimentación de la pista (teleSUR; última consulta: 30 de julio de 2026).[36]

El transporte marítimo también sufrió importantes interrupciones. El puerto de La Guaira, situado cerca de la zona de mayor intensidad sísmica, suspendió sus operaciones comerciales debido a daños estructurales en la terminal de contenedores (CMA CGM, 2026). En el puerto se documentaron efectos desencadenantes de la licuación (por ejemplo, el desprendimiento lateral) y se cree que contribuyeron a los daños observados. Buques de suministro de emergencia, incluido el USS Fort Lauderdale, pudieron entrar en el puerto ya el 28 de junio para apoyar las labores de socorro y asistencia humanitaria (Comando Sur de EE. UU., 2026). En las semanas posteriores a los terremotos, el puerto ha servido como centro de recuperación tras la tragedia, así como de morgue temporal para las víctimas. La carga comercial fue desviada a través de Puerto Cabello. A fecha de 26 de junio, Puerto Cabello operaba solo parcialmente debido a la insuficiencia de energía eléctrica, lo que reducía la capacidad disponible para absorber el tráfico marítimo desviado y podía afectar a las cadenas de suministro regionales. Se prevé que las operaciones comerciales se reanuden gradualmente en el Puerto de La Guaira a partir del 21 de julio (MAERSK, 2026).

En Caracas, los servicios de transporte público fueron suspendidos temporalmente para facilitar las operaciones de respuesta y recuperación ante la emergencia. Los sistemas de metro y ferrocarril fueron clausurados mientras se realizaban las inspecciones y se llevaban a cabo las labores de rescate, lo que limitó la movilidad en toda el área metropolitana durante los periodos inmediatamente posteriores al terremoto.

[36] teleSUR. (30 de julio de 2026). Consultado a través de: https://www.telesurenglish.net/venezuela-quake-recovery-airport-repairs/

El transporte terrestre también se vio afectado por las restricciones en la carretera principal que conecta La Guaira y Caracas. El acceso a lo largo de este corredor de transporte fundamental era limitado, y el uso de la carretera estaba reservado principalmente para el personal de respuesta a emergencias durante el período inicial de respuesta. Estas restricciones limitaron la circulación entre la capital y el principal aeropuerto internacional de Venezuela, así como entre las comunidades costeras cercanas.

Hallazgos de reconocimiento del equipo de campo de GEER

Las observaciones de reconocimiento indicaron que la infraestructura de transporte sufrió daños tanto estructurales como geotécnicos, y que los impactos más graves se concentraron en las comunidades costeras. La terminal de autobuses de Catia La Mar presentó fallos estructurales generalizados en vigas y conexiones, así como un colapso generalizado de la mampostería y rotura de losas asociado a una respuesta de diafragma flexible. La estructura de la plataforma trasera de la terminal también se derrumbó. Las observaciones geotécnicas realizadas en el lugar revelaron separaciones de hasta 20 cm en las losas del estacionamiento y erosión localizada en algunos de los cimientos de la estructura. En cambio, la terminal de autobuses de La Guaira permaneció estructuralmente intacta, con daños limitados a componentes no estructurales. Entre los daños observados se incluyó la pérdida del revestimiento exterior de una columna sin comprometer la estructura principal, así como el desprendimiento de mampostería en el segundo nivel y en partes del techo.

Los daños en la red de transporte fueron generalizados. Cerca del puerto deportivo de Caraballeda, la calzada presentaba un desnivel de aproximadamente 1,2 m, acompañado de grietas longitudinales y transversales de hasta 30 cm de ancho. Se observaron deslizamientos de tierra y bloqueos de carreteras causados por el derrumbe de edificios a lo largo de la carretera principal que atraviesa Catia La Mar, y se documentaron condiciones similares a lo largo de la 5ª Calle. En la región de Tucacas, los puentes a lo largo de la carretera Morón-Tucacas sufrieron un desplazamiento lateral de aproximadamente 10 cm asociado a deslizamientos de tierra y un desplazamiento vertical de aproximadamente 6 cm, lo que limitó el tráfico a un solo carril. También se observaron daños importantes en los puentes de la zona de La Guaira, donde uno de los puentes de acceso a Caraballeda se había derrumbado y otro, situado más cerca de la costa, se consideraba en riesgo de derrumbe. Además, varios puentes a lo largo de la carretera Caracas-La Guaira en la zona de Bolipuertos sufrieron daños en sus estribos.

13.5 Agradecimientos

Los autores de este capítulo agradecen a Liam Wotherspoon (profesor de la Universidad de Auckland) su revisión del contenido y sus valiosos comentarios.

13.6 Referencias

Caliber. (25 de junio de 2026). Caracas hit by power, water outages after devastating earthquake [Caracas sufre cortes de luz y agua tras un devastador terremoto]. https://caliber.az/en/post/caracas-hitby-power-water-outages-after-devastating-earthquake

ICOLD (2016). Inspection of Dams. Bulletin 166.

International Medical Corps. (26 de junio de 2026). Venezuela earthquakes: What you need to know [Terremotos en Venezuela: lo que necesita saber]. https://internationalmedicalcorps.org/story/venezuela-earthquakes-what-you-need-to-know/

López, J.L, Perazzo, P., Arnal, M., Pereira, K., Betancourt, C. (2026). Reporte de Inspeccion Post-Sismo, a las Presas de Control de Sedimento Rios Macuto y San Julian. Estado La Guaira. Carta memorándum. 22 de julio.

MenaLive vía X. (25 de junio de 2026). https://x.com/MenaLive_/status/2070260460645994589

MGR Consultants (2004). Proyecto de Investigación. Programa de Revisión de Presas. Preparado para Fonacit. Junio de 2004.

Oregon Public Broadcasting. (26 de junio de 2026). Things to know about Venezuela's powerful earthquakes [Información importante sobre los potentes terremotos de Venezuela]. https://www.opb.org/article/2026/06/26/things-to-know-about-venezuela-s-powerful-earthquakes/

Perazzo, P. (2026). Comunicaciones personales

Rafael Galicia vía YouTube. (14 de julio de 2026). https://www.youtube.com/watch?v=MA4Fytcxs1g

Rede TVT vía YouTube. (26 de junio de 2026). https://www.youtube.com/shorts/yRkU81fM7_8

Reuters. (25 de junio de 2026). Damage from quakes limited at Venezuela's oil infrastructure, workers say. [Según los trabajadores, los daños causados por los terremotos en la infraestructura petrolera de Venezuela fueron limitados.] https://www.reuters.com/business/energy/petrochemical-complex-venezuela-restarting-following-quake-firefighters-say-2026-06-25/

Reuters. (13 de julio de 2026). Venezuela's smallest refinery restarts catalytic cracker, workers say [La refinería más pequeña de Venezuela reinicia su unidad de craqueo catalítico, informan los trabajadores]. https://www.reuters.com/business/energy/venezuelas-smallest-refinery-restarts-catalytic-cracker-workers-say-2026-07-13/

teleSUR. (10 de julio de 2016). La Guaira Power Recovery Reaches 96% After Quakes [La Guaira recupera el 96% del suministro eléctrico tras los terremotos]. https://www.telesurenglish.net/la-guaira-power-recovery96-after-quakes/

teleSUR. (27 de junio de 2026). Venezuela Restores 60% of Power in Quake-Hit La Guaira [Venezuela restablece el 60 % del suministro eléctrico en La Guaira, ciudad afectada por el terremoto].https://www.telesurenglish.net/venezuela-restores-60-power-la-guaira/

teleSUR. (30 de julio de 2026). Consultado a través de: https://www.telesurenglish.net/venezuela-quake-recovery-airport-repairs/

teleSUR vía Instagram. (14 de julio de 2026). https://www.instagram.com/p/DaxqaThEdSG/

The New York Times. (25 de junio de 2026). Venezuela Earthquakes Hammer Infrastructure, Making Aid Efforts Harder [Los terremotos en Venezuela devastan la infraestructura y dificultan los esfuerzos de ayuda]. https://www.nytimes.com/2026/06/25/world/americas/venezuela-earthquakes-infrastructure.html

The World Bank Group. (2026). Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report – Venezuela Earthquakes [Informe del Sistema Global de Estimación Rápida de Daños Posteriores a Desastres (GRADE, por sus siglas en inglés) – Terremotos de Venezuela]. Washington, D.C. Obtenido de https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/GRADE%20Venezuela.pdf

TTTLiveOnline vía Facebook. (28 de junio de 2026). https://www.facebook.com/tttliveonline/posts/60-of-electricity-services-invenezuelas-la-guaira-state-have-been-restored-and-/1454013516760881/

UltimasNoticias. (14 de julio de 2016). Avanzan trabajos de recuperación del sistema hídrico de Barlovento tras daños por sismos. https://ultimasnoticias.com.ve/mas-vida/avanzan-trabajos-de-recuperacion-del-sistema-hidrico-de-barlovento-tras-danos-por-sismos/**Error! Hyperlink reference not valid.**

14. IMPACTOS HUMANOS Y ECONÓMICOS

Tabla 14-1. Autores principales de esta sección

Nombre	Afiliación
Nicole Paul	Investigadora postdoctoral en ETH Zurich, Suiza
Melanie Dickson	Estudiante de postgrado en NC State, EE. UU.
Ashly Cabas	Profesora asociada en NC State, EE. UU.

14.1 Actores y acciones de respuesta ante eventos extremos

La Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA) informó que, al 21 de julio, 49 organizaciones participaban activamente en actividades de respuesta: 4 de la ONU, 19 internacionales y 25 nacionales o locales (OCHOA 2026). Además, varios miembros de la comunidad científica internacional se movilizaron a Venezuela durante los primeros días/semanas posteriores a los terremotos de junio de 2026 para comprender mejor el alcance de los daños y documentar los impactos en los entornos construidos y naturales, así como en las comunidades. Hacemos hincapié en la importancia de la coordinación local entre las sociedades profesionales (por ejemplo, la SVG), el mundo académico (por ejemplo, la UCV, la UCAB, la UNIMET, la Universidad de Carabobo, etc.), la industria y las entidades gubernamentales para fomentar colaboraciones estratégicas y el rol esencial que desempeñaron (y siguen desempeñando) en el apoyo a las vías para el descubrimiento científico. Los equipos de GEER, tanto los que trabajan a distancia como los que lo hacen en el terreno, se beneficiaron enormemente de la generosidad de estos colaboradores locales, que permitieron documentar los impactos de estos intercambios en medio de tiempos difíciles para el país. Se mantienen colaboraciones para seguir examinando los posibles mecanismos de falla y llevar a cabo investigaciones de seguimiento en el campo.

14.2 Estimaciones anal í ticas preliminares de los impactos

14.2.1 PAGER del USGS

Horas después de los terremotos, las primeras estimaciones de su impacto estuvieron disponibles en el sitio web del Programa de Peligros Sísmicos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Uno de los productos publicados es el Sistema de Evaluación Rápida de Terremotos Globales para la Respuesta (PAGER, por sus siglas en inglés), un sistema automatizado que utiliza datos sísmicos de sensores remotos para estimar rápidamente la intensidad de los terremotos y el alcance de los impactos de estos eventos a nivel mundial (USGS 2026).

En el caso del terremoto de magnitud 7.5, el USGS estimó inicialmente que su epicentro se localizaba a 20 km al este-sureste de Yumare. Sobre la base de este entendimiento, PAGER emitió una alerta roja por pérdidas humanas y económicas, lo que indicaba que era probable que se produjeran cifras elevadas de víctimas y daños extensos, y que el desastre sería generalizado. El modelo estimó que las pérdidas económicas podrían ascender a entre el 5% y el 20% del PIB de

Venezuela, y señaló que la población de la región reside principalmente en estructuras vulnerables, predominantemente edificios de mampostería sin refuerzo y construcciones de adobe. En términos de exposición, PAGER identificó niveles de sacudidas severas y violentas (MMI VIII–IX) y daños potenciales que van de “fuertes” a “muy fuertes” en ciudades costeras como Caraballeda (49.000 residentes expuestos a MMI IX) y La Guaira (204.000), así como sacudidas severas (MMI VIII) con daños “moderadamente fuertes” a “fuertes” en Maiquetía (88.000), Puerto Cabello (209.000), Catia La Mar (662.000) y Ocumare de la Costa (7.000) (USGS 2026). La página de PAGER se actualizó por última vez el 17 de julio de 2026. La Figura 14-1 muestra la información actualizada más recientemente en el sitio web del USGS (último acceso: 10 de agosto de 2026).

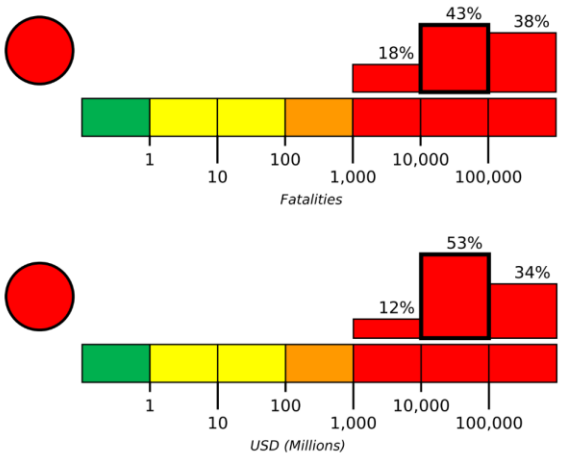
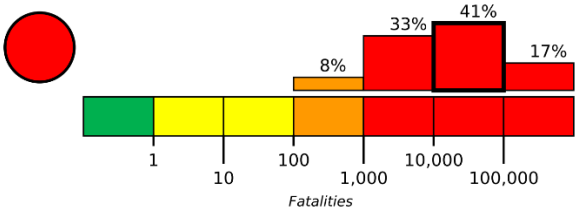


Figura 14-1. Probabilidades de mortalidad y pérdidas económicas según el sistema PAGER del USGS para el terremoto de magnitud 7.5 (cerca de Yumare), Venezuela. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos.

Para el evento de magnitud 7.2 que ocurrió aproximadamente a 21 km al ENE de San Felipe, PAGER también emitió una alerta roja y estimó pérdidas económicas en el rango del 0 al 7 % del PIB nacional. En este caso, el temblor máximo modelado fue severo (MMI VIII) en San Felipe, con daños potenciales que van desde "moderados fuertes" hasta "fuertes" y una población expuesta de aproximadamente 221.000 habitantes, mientras que otras ciudades como Puerto Cabello, Tucacas, Valencia y Valencia se encontraban mayoritariamente en el rango MMI VI-VII (USGS 2026).



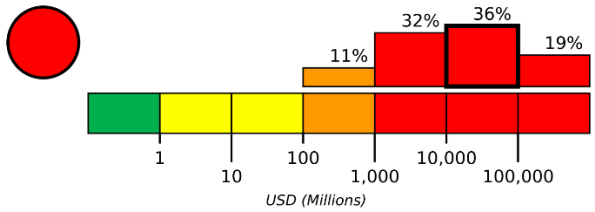


Figura 14-2. Probabilidades de mortalidad y pérdidas económicas según el sistema PAGER del USGS para el terremoto de magnitud 7.2 (cerca de San Felipe), Venezuela. Obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Programa de Peligros Sísmicos.

14.2.2 GEM

La Fundación Global Earthquake Model (GEM, por sus siglas en inglés)[37] proporciona periódicamente estimaciones rápidas del impacto de los terremotos al Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias (ERCC, por sus siglas en inglés)[38] del Mecanismo de Protección Civil de la Unión Europea (UE). El ERCC actúa como centro de coordinación para los Estados miembros de la UE y los Estados participantes, el país afectado y los expertos en protección civil y ayuda humanitaria. Las estimaciones de impacto rápido aprovechan los modelos de geometría de ruptura de ShakeMap del USGS y los componentes del Modelo de Riesgo Sísmico Global de GEM[39] (es decir, modelos de movimiento del suelo, modelo de exposición y modelos de vulnerabilidad).

Si bien las estimaciones iniciales del impacto de los terremotos venezolanos se proporcionaron al ERCC en un plazo de 24 horas, las estimaciones posteriores incorporaron la geometría actualizada de las fallas del USGS y supuestos alternativos sobre la magnitud. En la Tabla 14-2 se presenta un resumen de los impactos medios estimados. Las diferencias entre las estimaciones del impacto medio del 25 de junio y del 6 de julio se deben a los cambios en las geometrías de ruptura estimadas con mayor precisión a lo largo del tiempo. Las Figura 14-3 yFigura 14-4 también muestran la distribución espacial de la media estimada de víctimas mortales y edificios irreparables para el análisis M7.6, respectivamente.

Tabla 14-2. Estimaciones analíticas de riesgo de la Fundación GEM.

Fecha de análisis	25 de junio de 2026	6 de julio de 2026	6 de julio de 2026
Magnitud supuesta*	**M7.2 + M7.5**	**M7.2 + M7.5**	**M7.6**
Personas que viven en edificios con daños moderados o superiores (*millones*)	0,6	1,1	1,2

[37] https://www.globalquakemodel.org/
[38] https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection/emergency-response-coordination-centre_en
[39] https://www.globalquakemodel.org/products

Fecha de análisis	25 de junio de 2026	6 de julio de 2026	6 de julio de 2026
Superficie del suelo perdida (*millones de metros cuadrados*)	9,9	16,8	19,0
Personas gravemente heridas (*miles*)	9,7	16,4	18,6
Edificios irreparables (*miles*)	129	217	245
Muertes (*miles*)	2,9	5,0	5,6
Quedaron sin hogar (*miles*)	480	818	927
Pérdida económica (*miles de millones de dólares*)	4,1	6,1	7,9

*Dado que hubo dos grandes terremotos, es necesario hacer una suposición sobre cómo agregar los impactos estimados. Los resultados de M7.2 + M7.5 utilizan el impacto máximo estimado en cada ubicación de activos en dos simulaciones separadas: una del evento M7.2 y otra del evento M7.5. Mientras tanto, el análisis de M7.6 se basa en una única simulación que utiliza la inversión de fallas finitas del USGS (versión 3), la cual trata los eventos M7.2 y M7.5 como una ruptura continua[40] y con una magnitud mayor equivalente a la liberación total de energía en ambos eventos.

Aparte de las diferentes suposiciones sobre la geometría de la ruptura, los modelos de exposición y vulnerabilidad se basan en la versión de junio de 2026 del modelo de riesgo sísmico global de GEM. Los valores de población y costo de reposición son representativos de mediados de 2025. Las cifras estimadas de víctimas mortales y pérdidas económicas se deben exclusivamente a los daños directos sufridos por edificios residenciales, comerciales e industriales.

[40] https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000t7zp/finite-fault

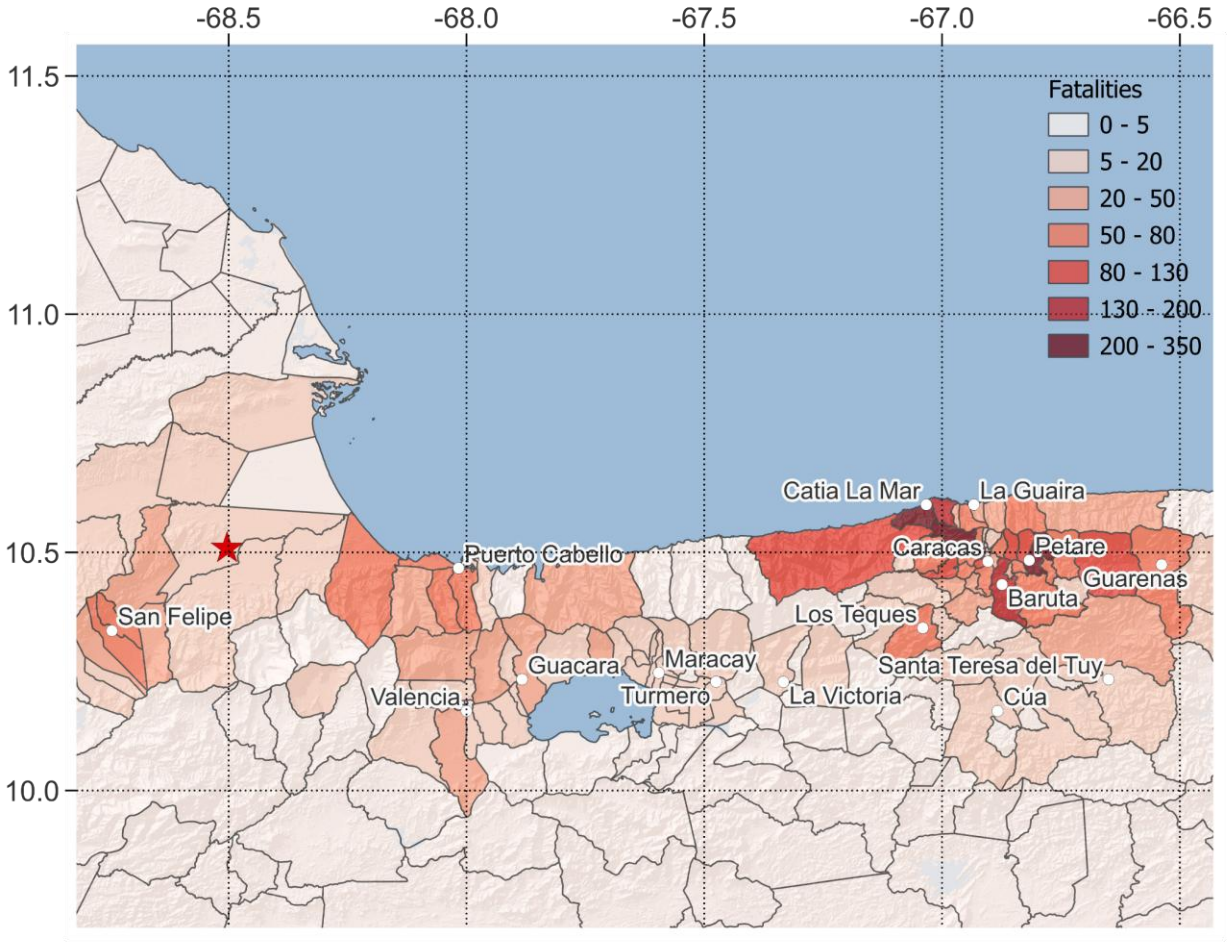


Figura 14-3. Distribución espacial del promedio estimado de muertes por análisis GEM.

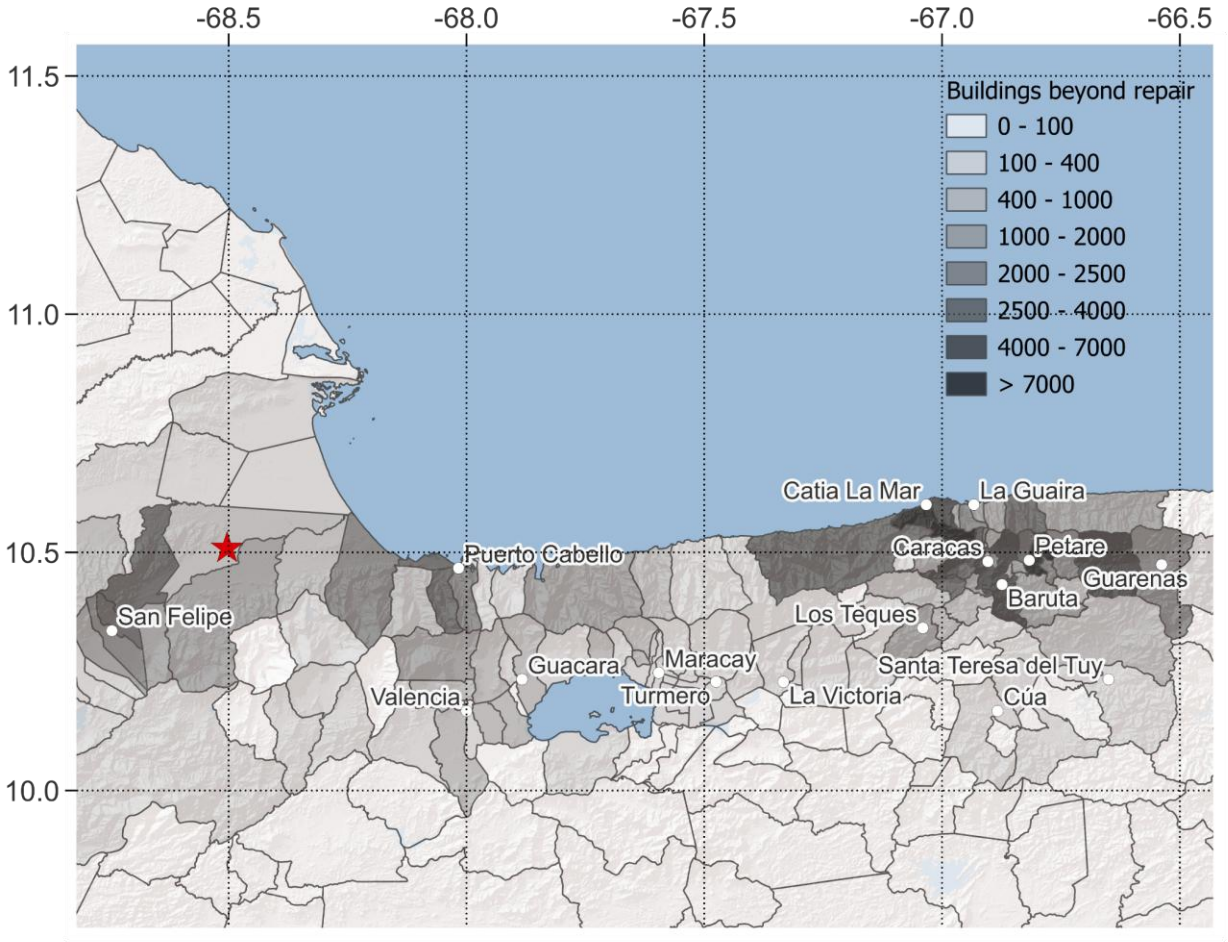


Figura 14-4. Distribución espacial del promedio estimado de edificios irreparables según el análisis GEM.

14.2.3 UNDRR

Otra organización que informó sobre estimaciones directas de los daños físicos causados por los dos terremotos a edificios e infraestructuras fue la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), con el apoyo de Ingeniar CAD/CAE Ltda.[41] y ERN[42]. Estos resultados se dieron a conocer a través de un informe técnico publicado el 3 de julio, aproximadamente una semana y media después de los terremotos (por ejemplo, véase la Figura 14-5).[43] En su evaluación, los daños a los edificios, incluidas las estructuras residenciales, comerciales, educativas, sanitarias, institucionales e industriales, se estimaron en alrededor del 3 % del parque inmobiliario expuesto, lo que equivale a aproximadamente 24 millardos de dólares, mientras que los daños a la infraestructura se estimaron en alrededor del 4 % del parque

[41] https://ingeniar-risk.com/en/
[42] https://www.ern.com.mx/web/
[43] https://www.undrr.org/publication/documents-and-publications/analytical-estimate-damages-caused-june-24-2026-earthquakes

inmobiliario expuesto, lo que equivale a aproximadamente 13 millardos de dólares. En general, el informe estimó los daños físicos directos en aproximadamente 37 millardos de dólares y los asoció con un período de retorno de unos 180 años (Salgado et al. 2026).

La UNDRR también subraya que estas cifras deben interpretarse como una estimación de los daños directos, no como una medida del costo total del desastre. El documento excluye explícitamente las pérdidas indirectas, las interrupciones en las actividades y servicios productivos, los costos de respuesta a emergencias, los efectos en las cadenas de suministro y los impactos sociales, ambientales y macroeconómicos, así como los costos de recuperación, refuerzo y reconstrucción. En este sentido, el propio informe señala que el impacto económico total probablemente será mayor que el valor directo estimado en el informe (Salgado-Galvez et al 2026).

El modelo utilizado en el informe para estimar los daños combina campos de aceleración máxima del suelo (PGA) obtenidos mediante el programa R-CRISIS (Ordaz et al. 2021) y el modelo regional de peligro sísmico ASLAC2 (Salgado-Gálvez et al. 2019), efectos del sitio basados en V_{s30}un modelo global de exposición de edificios (GAR15, De Bono y Chatenoux 2014) y un modelo de exposición de infraestructura (GIRI/CDRI) (Cardona et al. 2023), junto con más de 35 funciones de vulnerabilidad para edificios y más de 50 para infraestructura. El valor total expuesto de edificios e infraestructura en Venezuela se estima en aproximadamente USD 1080 millones, de los cuales alrededor del 70 % corresponde a edificios y el 30 % a infraestructura (Salgado-Galvez et al 2026).

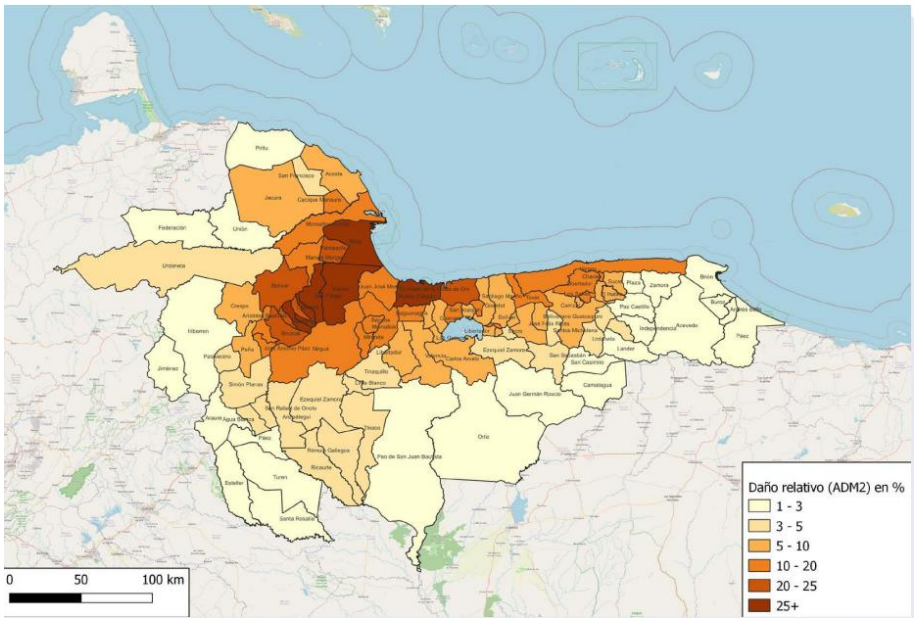


Figura 14-5. Agregación a nivel municipal de los daños directos modelados a edificios e infraestructura en el norte de Venezuela, basada en la estimación analítica de daños de la UNDRR (UNDRR, 2026, Figura 5).

14.2.4 GRADE del Banco Mundial

El Banco Mundial, utilizando la metodología GRADE (Estimación Rápida Global de Daños Posteriores a Desastres), elaboró otra estimación preliminar de los daños físicos causados por los

terremotos en Venezuela.[44] En esencia, GRADE calcula el coste de reposición de los bienes dañados: cuánto costaría restaurar cada edificio o infraestructura al estado en que se encontraba antes del suceso, sin tener en cuenta las mejoras ni la posibilidad de "reconstruir mejor". El propio informe aclara que no estima las pérdidas económicas ni las necesidades de recuperación, y que los costes de reconstrucción, incluidos los refuerzos estructurales, los cambios en la tipología de los edificios, la gestión de escombros y otros costes asociados, pueden oscilar entre dos y dos veces y media el valor de reposición calculado por GRADE. Basándose en comparaciones con otros desastres, el documento también señala que, en muchos casos, las pérdidas y necesidades totales acaban oscilando entre el 50 % y el 200 % del valor de los daños directos, con una concentración frecuente en el rango del 70 % al 150 %.

Metodológicamente, GRADE se presenta como una estimación de primer orden basada en información remota, que se nutre de los datos disponibles en las primeras semanas posteriores a un desastre y los calibra comparándolos con los informes de daños a medida que estos se vuelven más completos y fiables. Esto le permite ofrecer resultados rápidos, con una precisión que el Banco Mundial estima en torno al 90%, en comparación con evaluaciones más lentas y detalladas. En el caso de Venezuela, el informe analiza cómo esta estimación se ajusta a una gama más amplia de modelos y ejercicios analíticos, que van desde cifras del orden de 6 millardos de dólares hasta valores cercanos a los 37 millardos de dólares, y explica que las diferencias entre los estudios se deben generalmente a tres factores: qué activos se incluyen o excluyen, qué modelos y supuestos se utilizan para representar los daños, y la calidad y cobertura de los datos de entrada y calibración (Banco Mundial 2026).

14.3 Impactos reportados en el primer mes

14.3.1 Rescate y víctimas

Una de las principales preocupaciones durante la primera semana y media fue la búsqueda y rescate urbano (USAR, por sus siglas en inglés), para la cual se desplegaron 71 equipos compuestos por 2786 personas y 216 perros de búsqueda procedentes de 31 países.[45]Para el 2 de julio, se había informado del rescate de 6462 personas.[46] El número de víctimas aumentó durante los días y semanas posteriores a los terremotos, con un estimado de 5.398 muertos y 16.740 heridos hasta el 23 de julio (véase la Figura 14-6).[47] Al 2 de julio, 21 hospitales reportaron 4757 pacientes registrados en cuatro estados.[48] El día anterior, se informó que aproximadamente 13 000 personas habían sido dadas de alta de los centros de salud tras su recuperación.[49]

[44] https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/GRADE%20Venezuela.pdf
[45] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/venezuela-earthquakes-june-2026-urban-search-and-rescue-usar-team-snapshot-14-july-1000-gmt-4
[46] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/earthquakes-venezuela-situation-report-9-02july-2026-time-0900-pm
[47] https://www.unocha.org/publications/report/venezuela-bolivarian-republic/earthquakes-venezuela-situation-report-30-23-july-2026-time-0900-pm
[48] https://localizapacientes.com/
[49] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/earthquakes-venezuela-situation-report-no-8-01-july-2026-time-0700-pm

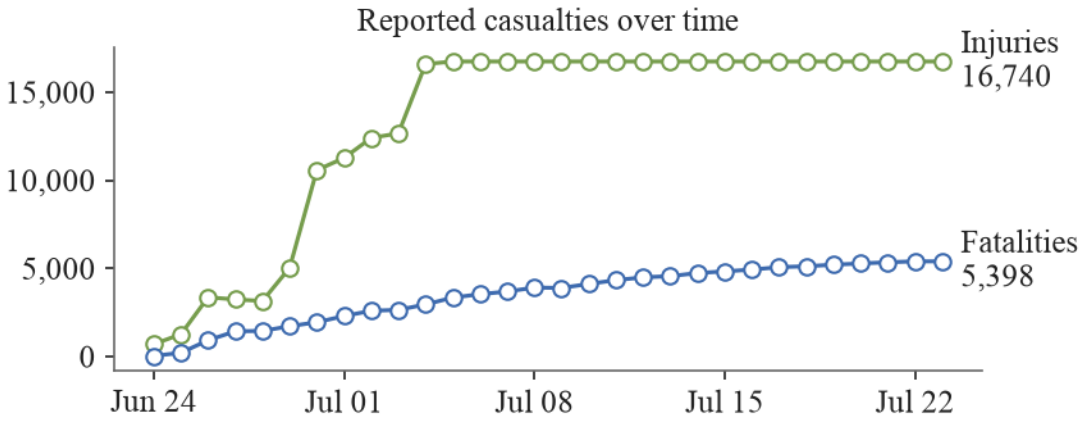


Figura 14-6. Víctimas reportadas a lo largo del tiempo según los informes diarios de situación de la OCHA de la ONU, que citan cifras oficiales.

14.3.2 Desplazamiento de la población

En los días inmediatamente posteriores a los terremotos, la información sobre el número de personas desplazadas fue limitada. No obstante, muchos medios de comunicación informaron que las familias permanecieron al aire libre por preocupación por su seguridad y por temor a las réplicas.[50] Se reportaron campamentos improvisados en calles, plazas, parques, estadios y otras áreas abiertas.

La información sobre los refugios temporales comenzó aproximadamente una semana después, y el número de emplazamientos aumentó de 25 el 1 de julio a 107 el 16 de julio. Los 107 refugios temporales están distribuidos entre Caracas (41), La Guaira (28), Miranda (28) y Aragua (10). A fecha de 23 de julio, se estima que 17 907 personas no tienen vivienda y 23 843 permanecen en refugios temporales.[51]Los datos recogidos en tres campamentos de transición durante la primera semana de julio se resumen en la Tabla 14-3, que proporciona desgloses por datos demográficos y daños en las viviendas. Además, se identificó que muchas personas en estos campamentos de transición tenían necesidades específicas: personas con discapacidades, mujeres embarazadas, personas con problemas de salud graves, necesidades de protección legal y/o física, y personas con familiares desaparecidos.

[50] https://www.nytimes.com/2026/06/26/world/americas/venezuela-earthquake-survivors-displaced.html
http://english.elpais.com/international/2026-06-26/aid-trickles-in-survivors-sleep-outside-and-looting-breaks-out-in-la-guaira-the-venezuelan-city-hardest-hit-by-the-earthquake.html
https://www.infobae.com/venezuela/2026/06/25/plazas-parques-y-calles-se-llenan-de-familias-que-buscan-refugio-tras-los-terremotos-en-venezuela/

[51] https://www.unocha.org/publications/report/venezuela-bolivarian-republic/earthquakes-venezuela-situation-report-30-23-july-2026-time-0900-pm

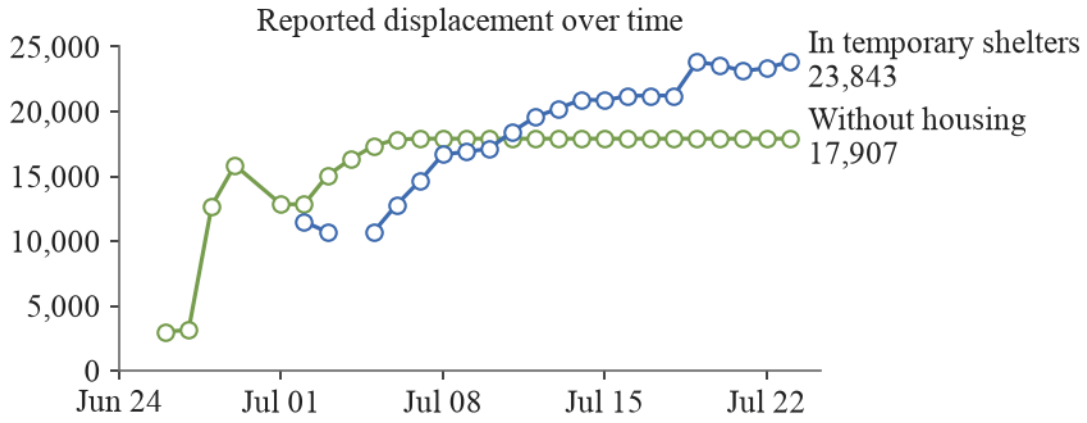


Figura 14-7. Poblaciones desplazadas reportadas a lo largo del tiempo según los informes diarios de situación de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (OCHA).

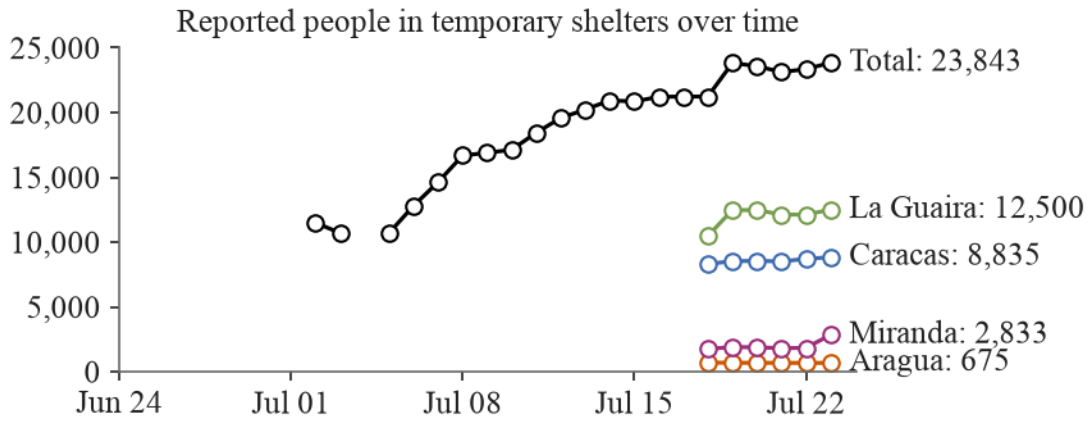


Figura 14-8. Población reportada en refugios temporales a lo largo del tiempo según los informes diarios de situación de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (OCHA), desglosados por estado.

Tabla 14-3. Desglose demográfico y de daños a la vivienda de las personas en los refugios temporales según la Matriz de Seguimiento de Desplazamientos (DTM) de la Organización Internacional para las Migraciones (OIM)[52]

Sitio de refugio temporal	Desglose demográfico	Desglose de daños en la vivienda
Polideportivo José María Vargas	51 % mujeres 33 % Niños y adolescentes (<18) 11 % Personas mayores (60 años o más)	77 % de daño total 23 % de daños parciales
Estadio de béisbol César Nieves	52 % mujeres 25 % Niños y adolescentes (<18) 17 % Personas mayores (60 años o más)	67 % de daño total 32 % de daños parciales 1 % Desconocido
Estadio de Playa Grande	70 % mujeres 45 % Niños y adolescentes (<18)	--

14.3.3 Acceso a servicios y necesidades básicas

En los días y semanas posteriores a los terremotos, el acceso a los servicios básicos y a los bienes esenciales se vio gravemente interrumpido en las zonas más afectadas, especialmente en La Guaira y el Gran Caracas, donde las autoridades y los actores humanitarios informaron de interrupciones generalizadas en los servicios de electricidad, agua, gas, telecomunicaciones, transporte y salud.[53]

Las evaluaciones preliminares rápidas coordinadas por el Grupo de Salud y las organizaciones asociadas pusieron de manifiesto la magnitud de la interrupción de la infraestructura y los servicios en La Guaira. Una evaluación dirigida por International Medical Corps el 25 de junio estimó que entre el 70 y el 90 por ciento de los edificios en La Guaira resultaron dañados o colapsaron e informó que el 100 por ciento de las instalaciones de salud en el área evaluada se vieron afectadas.[62] Evaluaciones paralelas realizadas por CESAP, AVESSOC y Acción Campesina a lo largo del corredor Macuto-Caraballeda describieron más de 40 edificios completamente destruidos, daños estructurales severos o graves en un estimado del 80 por ciento de los edificios residenciales y fallas en el sistema eléctrico, con líneas eléctricas colapsadas y cortes prolongados.[62] Estos hallazgos fueron consistentes con los informes de la IFRC de hasta un 95 por ciento de impacto estructural en sectores críticos de La Guaira y grave interrupción de electricidad, agua, gas y telecomunicaciones, particularmente en barrios costeros como Catia La Mar y Playa Grande.[54]

Las condiciones de agua, saneamiento e higiene (WASH, por sus siglas en inglés) se deterioraron rápidamente en esos mismos lugares. La FICR documentó la necesidad crítica de restablecer el suministro de agua y el saneamiento en refugios, estadios y otros puntos de concentración, señalando que las bombas de agua colapsadas en la base del estadio de La Guaira habían dejado

[52] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/bolivarian-republic-venezuela-transitional-camps-06-july-2026
[53] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/earthquakes-venezuela-situation-report-16-09-july-2026-time-0900-pm
[54] https://go.ifrc.org/emergencies/7990/reports

inoperables los baños y las duchas. En respuesta, los equipos WASH de la Cruz Roja Venezolana priorizaron el reemplazo o reparación de bombas de agua, la reactivación de duchas y letrinas en sitios clave, y el suministro de agua potable y apoyo para el tratamiento del agua.[54] UNICEF y sus socios WASH desplegaron tanques de almacenamiento de agua y kits de higiene, distribuidos para apoyar a grupos de población vulnerables,[60] mientras que socios como CISP instalaron puntos de lavado de manos en los campamentos de transición de Playa Grande.[64] A finales de julio, UNICEF informó que mantenía letrinas de emergencia, puntos de lavandería y estaciones de lavado de manos, apoyados por operaciones regulares de camiones cisterna que proporcionaban alrededor de 80 000 litros de agua por día y la distribución de kits de higiene familiar que llegaron a 8906 personas en entornos de desplazamiento. Asimismo, la OIM reforzó el acceso al almacenamiento seguro de agua y a los suministros de higiene, distribuyendo más de 1500 contenedores de agua plegables y más de 1000 kits de higiene a los hogares afectados.[51]

El acceso a los alimentos fue también una preocupación fundamental durante el primer mes. Muchas familias en La Guaira y el Gran Caracas recurrieron a cocinar en espacios públicos o a depender de donaciones y comedores comunitarios, ya que los daños a las viviendas, los mercados y las cadenas de suministro interrumpieron el acceso normal a los alimentos.[62] Los informes del PMA indican que, a finales de julio, había llegado a más de 100.000 personas con asistencia alimentaria en las zonas afectadas por el terremoto a través de tres modalidades principales: comidas calientes en refugios y comedores comunitarios, raciones listas para consumir para personas sin instalaciones para cocinar y canastas de alimentos secos que cubrían alrededor del 75 por ciento de las necesidades mensuales de un hogar donde las viviendas seguían siendo habitables pero los medios de subsistencia y el acceso al mercado se vieron interrumpidos.[55]Paralelamente, World Central Kitchen desplegó una cocina de campaña de gran capacidad y una red de restaurantes locales asociados en La Guaira, Caracas y partes de Carabobo, sirviendo decenas de miles de comidas calientes al día en docenas de puntos de distribución y, a mediados de julio, informó que sus equipos habían servido más de un millón de comidas a familias, personal de respuesta y personas refugiadas en las calles y espacios públicos.[56]

El acceso a la atención médica se vio limitado tanto por los daños directos a la infraestructura como por el aumento repentino de casos de traumatismos y otras necesidades médicas. Inmediatamente después del terremoto, los centros de salud pública se enfrentaron a un aumento repentino de la demanda relacionada con las lesiones sufridas y se vieron obligados a evacuar a los pacientes de las instalaciones dañadas. Según la FICR, a los pocos días del suceso, se reportaron daños en al menos ocho hospitales, algunos evacuados y otros operando por encima de su capacidad, mientras que el hospital de la Cruz Roja Venezolana en Caracas alcanzó su capacidad máxima la primera noche y tuvo que cerrar temporalmente.[54] Las evaluaciones rápidas en La Guaira describieron clínicas ambulatorias colapsadas, un hospital de campaña en un campo de golf que operaba con aproximadamente 30 empleados y voluntarios, y el Hospital Dr. José María Vargas atendiendo a unos 800 pacientes con escasez de suministros, anestésicos y capacidad de morgue. El Grupo de Salud hizo hincapié en que los centros de salud de La Guaira estaban bajo una “presión severa”, con deficiencias críticas en la atención de traumatismos, suministros y

[55] https://media.un.org/unifeed/en/asset/d361/d3612149
[56] https://wck.org/es/news/aviso-a-los-medios-wck-abre-una-cocina-de-campo-para-ampliar-la-respuesta-al-los-terremotos-en-venezuela-con-30-000-comidas-diarias/

energía eléctrica, y recomendó reforzar el triaje, la atención prehospitalaria, las vías de derivación y las unidades médicas móviles.[62]

Para paliar parcialmente estas deficiencias, diversos actores desplegaron servicios médicos y sanitarios de emergencia en cuestión de horas e incluso días después del suceso. La Cruz Roja Venezolana instaló un hospital de campaña y puestos de primeros auxilios en La Guaira, atendidos por cientos de voluntarios y personal, y reportó un alto volumen de consultas de atención primaria de salud en los primeros días de la respuesta.[57] Un hospital de campaña de emergencia enviado por la FICR reforzó esta capacidad, permitiendo brindar atención primaria de salud a decenas de miles de personas en las zonas más afectadas.[58] International Medical Corps desplegó unidades médicas móviles y comenzó a transportar agua potable en camiones a La Guaira para apoyar a los centros de salud saturados y a las comunidades circundantes.[59] Al 23 de julio, la OPS/OMS indicó que algunos Equipos Médicos de Emergencia (EMT) habían participado en la respuesta, 14 de los cuales seguían operativos, prestando decenas de miles de consultas en campamentos y barrios afectados. La OIM y UNICEF ampliaron los servicios móviles y en centros sanitarios, proporcionando conjuntamente más de 7000 consultas médicas y llegando a más de 20.000 personas a través de la atención primaria de salud y actividades de vacunación con medicamentos, apoyo psicológico y suministros sanitarios esenciales.[51]

Más allá del acceso a agua, saneamiento e higiene, alimentos y salud, el acceso a una variedad de otros servicios esenciales y necesidades básicas se vio interrumpido en las zonas afectadas por el terremoto. Las fallas en el suministro eléctrico y las telecomunicaciones dificultaron la coordinación, la localización de familiares y el flujo de información, lo que impulsó el uso de conectividad satelital como Starlink y la evaluación de sitios repetidores en zonas montañosas como Galipán para restablecer las comunicaciones.[54] Las limitaciones de transporte, incluyendo carreteras dañadas, escombros y el cierre parcial del Aeropuerto Internacional Simón Bolívar en Maiquetía, complicaron la llegada y el posterior traslado de suministros de ayuda, lo que llevó a la FICR, el PMA y otros socios a depender de rutas alternativas y operaciones de puentes aéreos específicos para transportar suministros médicos y de ayuda.[54]

[57] https://www.redcross.org/about-us/news-and-events/news/2026/red-cross-movement-responds-to-venezuela-earthquakes.html
[58] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/venezuela-earthquakes-ifrc-dispatches-emergency-field-hospital-supports-venezuelan-red-cross-distribution-humanitarian-relief-kits
[59] https://internationalmedicalcorps.org/emergency-response/venezuela-earthquakes/



Figura 14-9. Puesto sanitario provisional de la Cruz Roja en La Guaira, donde voluntarios y personal médico ofrecen consultas de emergencia y primeros auxilios a las personas afectadas por los terremotos.

14.3.4 Informes sobre poblaciones vulnerables

Durante el primer mes de la respuesta, los informes de diferentes organizaciones coincidieron en que el impacto de los terremotos fue particularmente grave para ciertos grupos de población que ya se encontraban en situaciones vulnerables antes del evento, incluidos niños y adolescentes, mujeres embarazadas y mujeres en edad reproductiva, adultos mayores, personas con discapacidades y personas con enfermedades crónicas.[60, 61] La combinación de daños estructurales a viviendas, escuelas y hospitales, interrupciones en los servicios básicos y desplazamientos forzados creó patrones de riesgo distintos dentro de la misma área afectada.[60, 62] En consecuencia, varios informes y medios de comunicación —algunos de los cuales se describen a continuación— se centraron en cuantificar, informar y ayudar a ciertos grupos vulnerables dentro de la población.

Uno de estos grupos vulnerables son los niños y adolescentes. Para este grupo, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) estimó que cientos de miles de niños necesitaban asistencia humanitaria inmediata, mientras que se reportaron graves daños en escuelas del Distrito Capital y otros estados afectados, lo que llevó a la suspensión de clases y al uso de algunas instalaciones educativas como refugios temporales.[60] Al mismo tiempo, la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (FICR) documentó la presencia de niños y adolescentes no acompañados o separados de sus cuidadores en instalaciones

[60] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/unicef-venezuela-humanitarian-situation-report-no2-earthquake-27-june-2026
[61] https://www.unfpa.org/resources/flash-update-earthquakes-venezuela-24-26-june-2026
[62] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/venezuela-health-cluster-earthquakes-situation-report-2-27-june-2026-enes

de salud y centros de acogida, destacando la falta inicial de un sistema unificado para su registro y seguimiento y la necesidad urgente de activar vías de protección especializadas.[63]

Por su parte, el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA) advirtió sobre el impacto específico en las mujeres y las niñas, en particular en las decenas de miles de mujeres embarazadas afectadas y en las mujeres en edad reproductiva que sufrieron interrupciones en la atención prenatal, obstétrica y de planificación familiar. Los informes indican que el hacinamiento, la pérdida de privacidad y el colapso de las redes de apoyo comunitario en los refugios y asentamientos temporales aumentaron los riesgos de violencia de género y la necesidad de servicios de salud sexual y reproductiva como intervenciones que salvan vidas desde las primeras etapas de la emergencia.[61]

La información sobre adultos mayores y personas con discapacidad es menos sistemática, pero tanto la FICR como los mecanismos nacionales de protección reconocieron explícitamente a estos grupos como categorías de alta prioridad para la asistencia, especialmente cuando eran jefes de familia con hijos o dependían de un tratamiento continuo para enfermedades crónicas.[63, 64] Los testimonios documentados por organizaciones de la sociedad civil y medios especializados ilustran cómo las limitaciones de movilidad, sensoriales o cognitivas dificultaron la evacuación rápida durante el terremoto y afectaron la forma en que estas personas pudieron acceder a ayuda, refugio y servicios básicos en los días posteriores al evento.[65]Las evaluaciones rápidas realizadas en La Guaira y otras zonas gravemente afectadas también describen un colapso temporal de la red de servicios de salud, con una interrupción total o casi total de la infraestructura sanitaria en algunas zonas, lo que complicó aún más la continuidad de la atención para las personas con afecciones preexistentes.[62]

14.4 Referencias

Cardona, O., Marulanda, M., Marulanda, P., Bernal, G., Carreño, M., Villegas, C., … Maskrey, A. (2023). Multi-hazard Disaster Risk Model of Infrastructure and Buildings at the Global Level [Modelo de riesgo de desastres multiamenaza para infraestructuras y edificios a nivel mundial]. INGENIAR: Risk Intelligence for the CDRI Flagship Report [INGENIAR: Inteligencia de riesgos para el informe insignia del CDRI]. Recuperado de https://giri.unepgrid.ch/sites/default/files/2023-11/2.4-INGENIAR-CDRI-Background-Report-Risk-model.pdf

De Bono, A. y Chatenoux, B. (2014). A global exposure model for GAR 2015 [Un modelo de exposición global para GAR 2015]. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). Recuperado de https://www.undrr.org/publication/global-exposure-model-gar-2015

OCHOA 2026. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNTViYzFkNDAtODQ1YS00NDU4LThhMjEtYm

[63] https://www.ifrc.org/emergency/venezuela-earthquake-2026
[64] https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/earthquakes-venezuela-situation-report-16-09-july-2026-time-0900-pm
[65] https://www.palabranahj.org/archive/living-through-the-earthquakes-in-venezuela-with-a-disability-fleeing-is-not-the-same-for-everyone

E3OTIzMTYxNTkzIiwidCI6IjBmOWUzNWRiLTU0NGYtNGY2MC1iZGNjLTVlYTQxNmU2ZGM3MCIsImMiOjh9

Ordaz, M., Salgado-Gálvez, M., & Giraldo, S. (2021). R-CRISIS: 35 years of continuous developments and improvements for probabilistic seismic hazard analysis [R-CRISIS: 35 años de desarrollo y mejoras continuas en el análisis probabilístico del riesgo sísmico]. Bulletin of Earthquake Engineering, 19, 2792–2816. https://doi.org/10.1007/s10518-021-01098-w

Salgado-Gálvez, M., Ordaz, M., Krishna, S., Darío, O., Reinoso, E., Aguado, A., … Bernal, G. (2019). Nuevo modelo probabilista de amenaza sísmica para América Latina y el Caribe – ASLAC. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Cali, Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/333517167_Nuevo_modelo_probabilista_de_amenaza_sismica_para_America_Latina_y_el_Caribe_-_ASLAC

Salgado-Gálvez, M., Bernal, G., Garay, O., Ordaz, M., & Darío, O. 2026. Analytical Estimate of Damages Caused by the June 24, 2026 Earthquakes in Venezuela [Estimación analítica de los daños causados por los terremotos del 24 de junio de 2026 en Venezuela]. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres: https://www.undrr.org/publication/documents-and-publications/analytical-estimate-damages-caused-june-24-2026-earthquakes

USGS. (27 de julio de 2026). Earthquake Hazards Program: PAGER [Programa de Riesgos Sísmicos: PAGER]. Recuperado de https://earthquake.usgs.gov/data/pager/

APÉNDICE A

Edificios derrumbados versus edificios dañados en Caracas (ejemplos)



Figura 14-10. Hospital Dr. Francisco A. Risquez (a) Antes de los terremotos de Periódico CiudadCCS, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (10.51615922°, -66.90547798°).

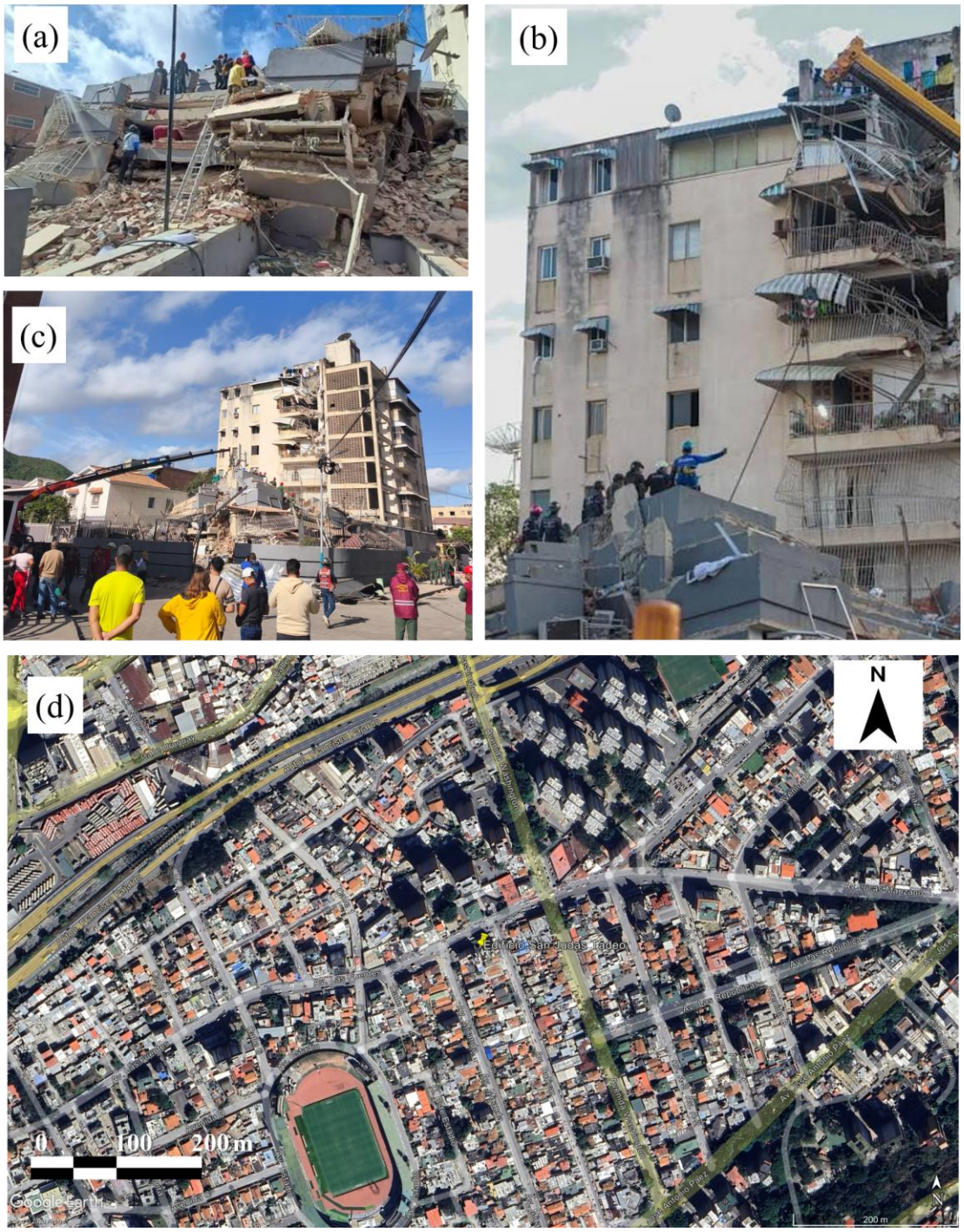


Figura 14-11. Edificio San Judas Tadeo (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 3 de enero de 2026 (coordenadas: 10.48525157°, -66.94035304°).

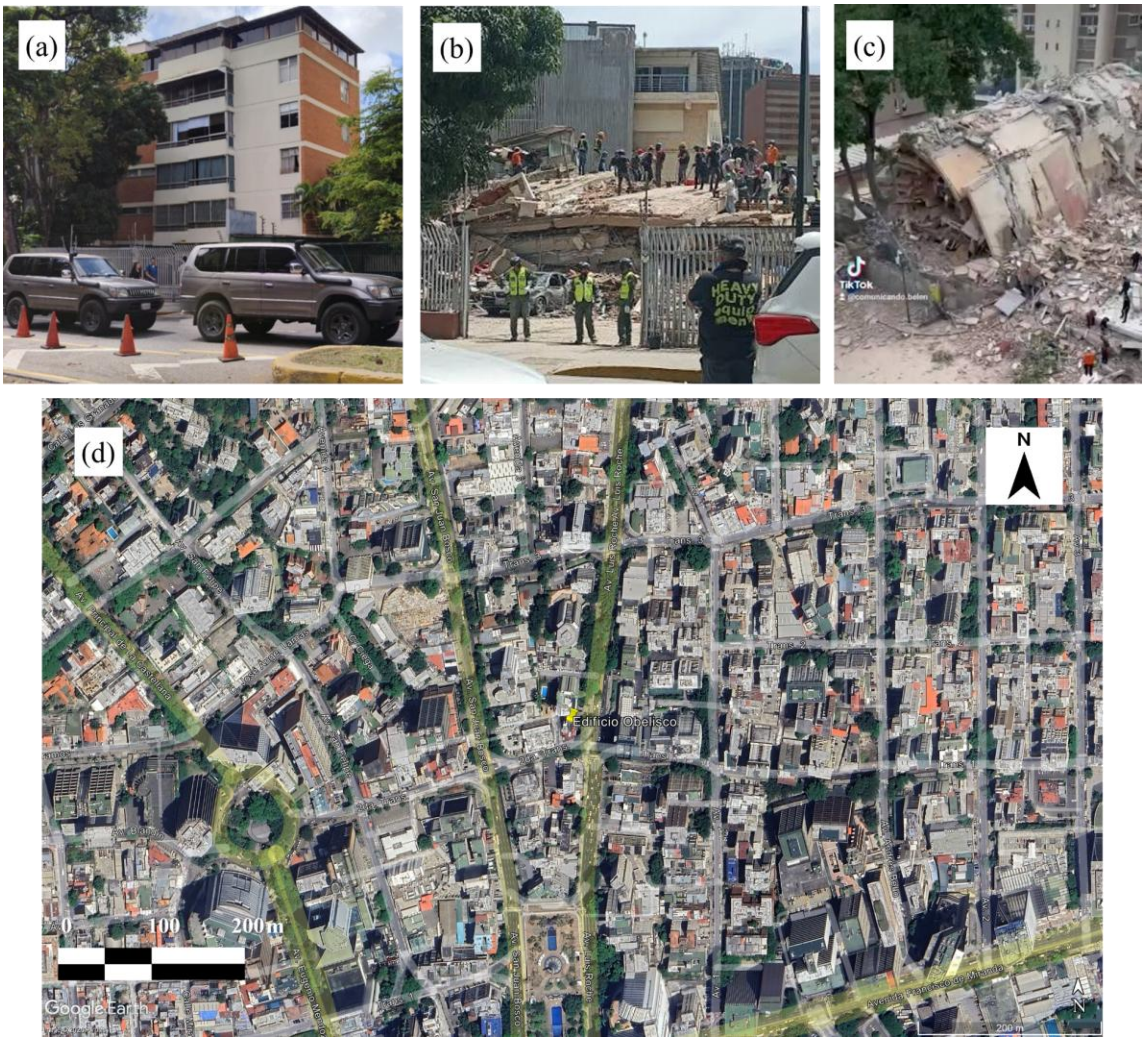


Figura 14-12. Edificio Obelisco (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) – (c) después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49896165°, -66.84871364°).



Figura 14-13. Edificio Don Pepe (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.492412°, -66.853523°).

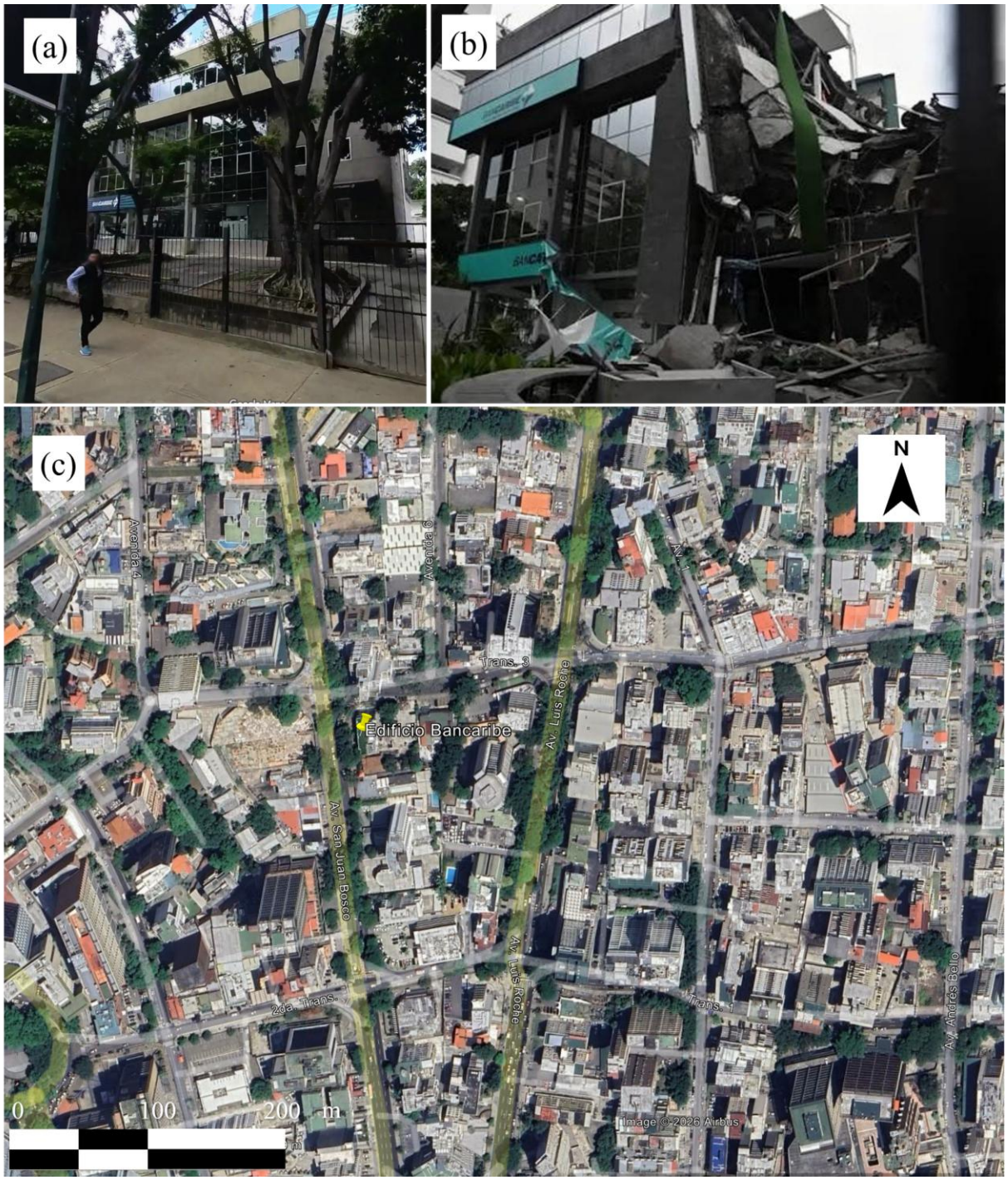


Figura 14-14. Edificio BanCaribe (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.5001565°, -66.8496062°).



Figura 14-15. Bloque 5 Pinto de Salinas (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (d) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.5110282°, -66.886817°).

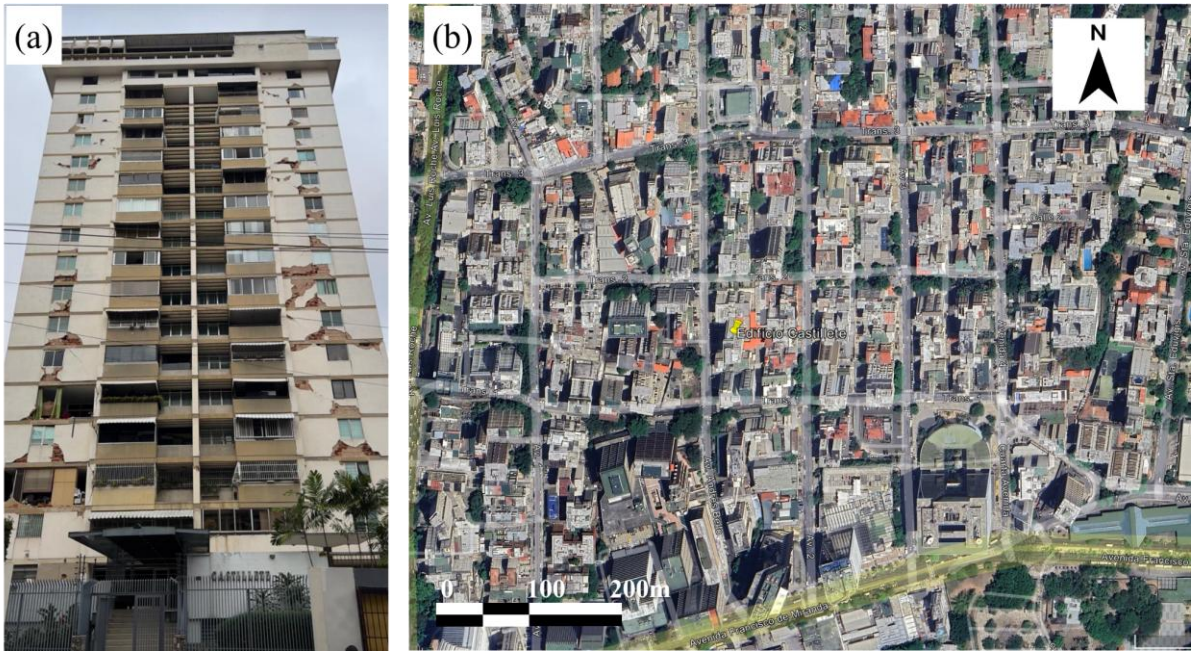


Figura 14-16. Edificio Castillete (a) Después de los terremotos de las redes sociales, (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49918999°, -66.84532625°)

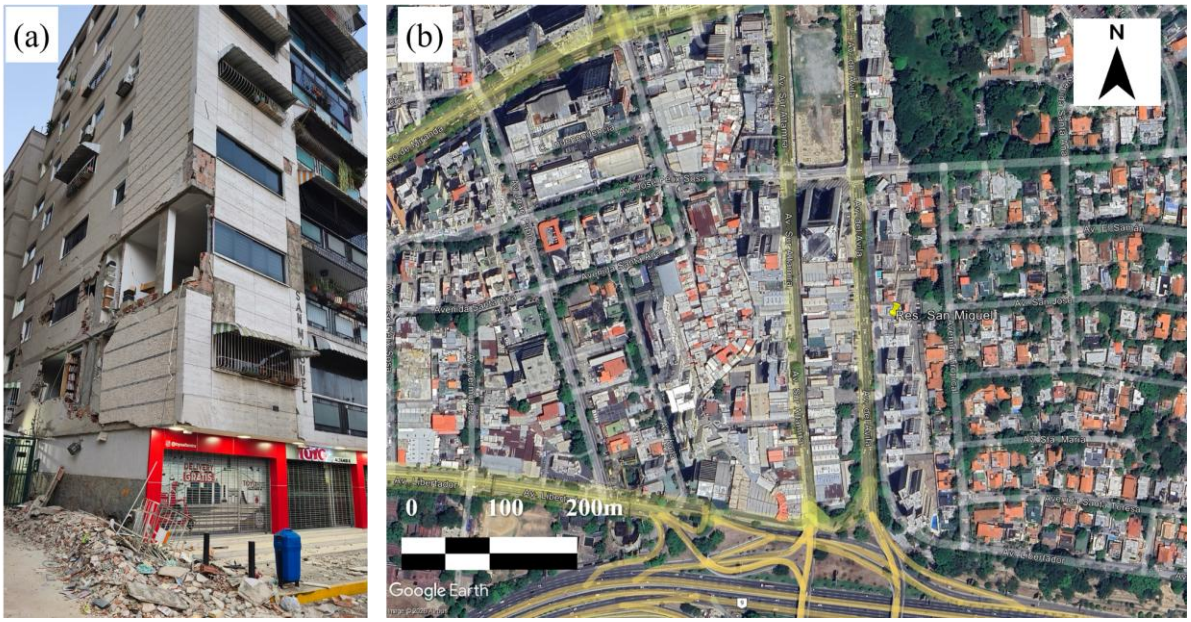


Figura 14-17. Edificio San Miguel (a) Después de los terremotos de las redes sociales, (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49200224°, -66.84799166°)



Figura 14-18. Edificio Padula (a) Después de los terremotos de las redes sociales, (b) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.49041086°, -66.85042528°).

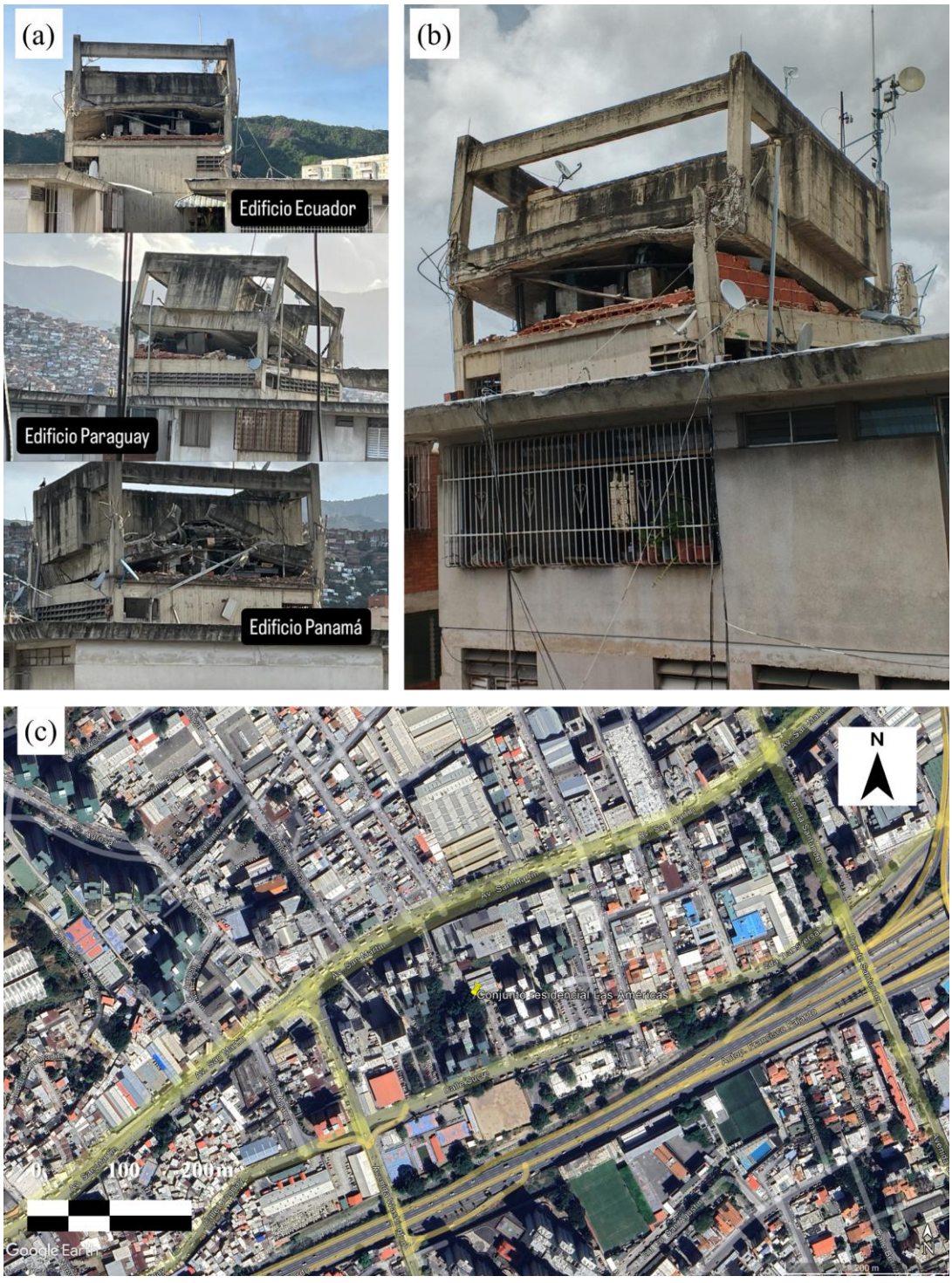


Figura 14-19. Conjunto Residencial Las Américas Edificios (a) – (b) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 22 de marzo de 2024 (coordenadas: 10.4907061°, -66.9396332°)

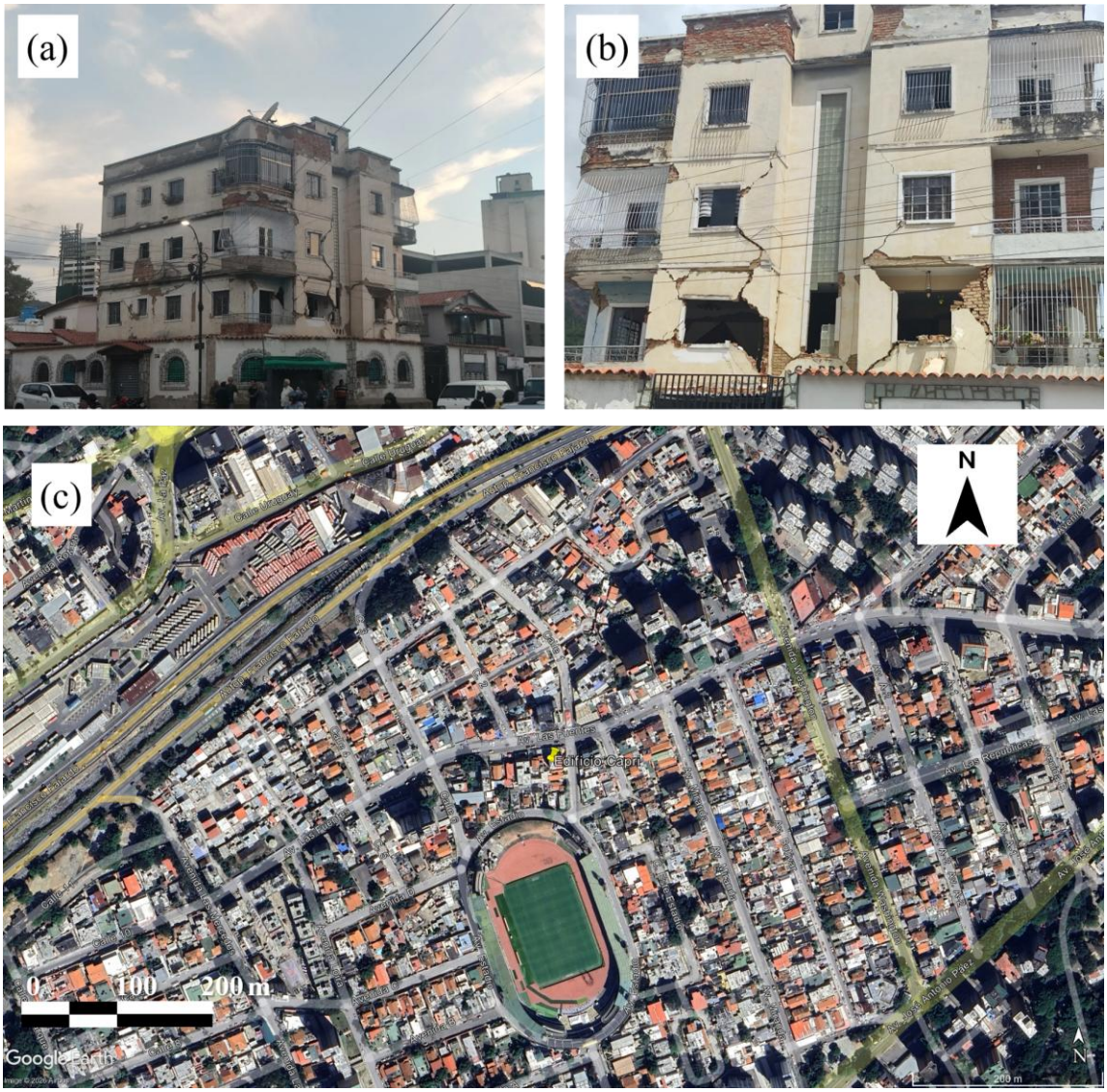


Figura 14-20. Edificios de Capri (a) – (b) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de febrero de 2025 (coordenadas: 10.48464819°, -66.94188545°).



Figura 14-21. Edificio Sorocaima (a) – (c) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 21 de diciembre de 2025 (coordenadas: 10.5107683°, -66.9007435°).

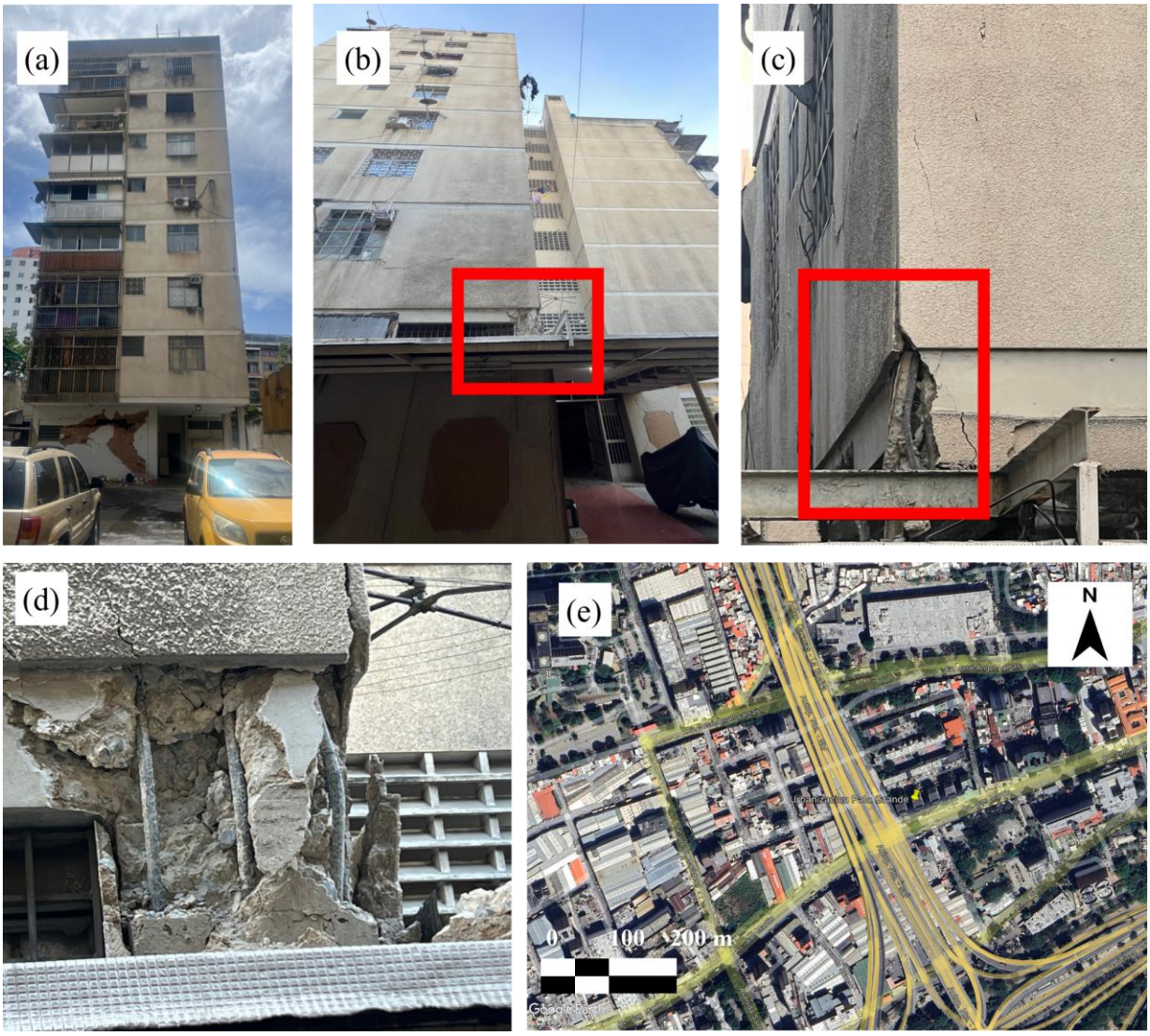


Figura 14-22. Urbanización Palo Grande Building (a) – (d) Después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de febrero de 2025 (coordenadas: 10.495449°, -66.933783°)



Figura 14-23. Iglesia de Las Mercedes (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 13 de mayo de 2024 (coordenadas: 10.510401°, -66.9141653°)



Figura 14-24. Urbanización La Esperanza Edificio (a) Antes de los terremotos de Google Earth, (b) después de los terremotos de las redes sociales, (c) Imágenes aéreas de Google Earth con fecha del 5 de febrero de 2025 (coordenadas: 10.49683279°, -66.95569754°).