

APORTES DE LA INGENIERÍA EN EL BUEN DESEMPEÑO DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN VENEZUELA

Acad. Carlos ESPINOSA JIMÉNEZ¹; Com. Yajaira OLIVO CARMONA²; Acad. Griselda FERRARA DE GINER³; Com. Suher Carolina YABROUDI⁴; Acad. Eduardo BUROZ CASTILLO⁵; Com. Luis E. MORA MORA⁶ y Com. Belkis ECHENIQUE ARCHILES⁷. Todos miembros de la Comisión de Ambiente de la ANIH-VE.

RESUMEN

Se presenta una investigación documental sobre los aportes de la ingeniería en el buen desempeño de los servicios públicos de agua potable y saneamiento en Venezuela. Los temas desarrollados se presentan en la secuencia completa del proceso de gestión del recurso agua en el ambiente urbano, a saber: su captación, su conducción hasta las plantas potabilizadoras, y posterior tratamiento, su almacenamiento y distribución, la recolección y depuración de las aguas residuales, la recolección de las aguas pluviales, las posibilidades de implementación de la economía circular del agua y su disposición final. Adicionalmente esta secuencia de la gestión del agua en el ambiente urbano, se complementó con su contexto histórico, legal y de gobernanza y los embalses como obras de captación. Finalmente se realiza una propuesta con visión de futuro para el sector agua potable y saneamiento en Venezuela.

ABSTRACT

*Engineering support for the successful performance
of public drinking water and sanitation services in Venezuela.*

This paper presents a documentary investigation into the contributions of engineering to the efficient performance of public drinking water and sanitation services in Venezuela. The topics developed are presented in the complete sequence of water resource management in the urban environment, namely: water collection, transportation to water treatment plants and subsequent treatment, storage and distribution, wastewater collection and treatment, rainwater harvesting, the possibilities for implementing a circular water economy, and final disposal. Additionally, this sequence of water management in the urban environment is complemented by its historical, legal, and governance context, and reservoirs as collection structures. Finally, a forward-looking proposal for the drinking water and sanitation sector in Venezuela is presented.

Palabras clave: Venezuela, servicios de saneamiento, desempeño servicios públicos, aportes de la ingeniería, agua potable y saneamiento

Keywords: Venezuela, sanitation services, public services performance, engineering support, water supply and sanitation.

Introducción

Para asegurar un ciclo continuo y sostenible de los servicios de agua potable y saneamiento (APyS) se debe abordar este tema considerando el ciclo integral del agua, referido al proceso completo de gestión de este valioso recurso, desde su

captación en las cuencas productoras, conducción desde la fuente, tratamiento de potabilización, almacenamiento, distribución, recolección de aguas servidas y drenaje de aguas pluviales, depuración, reutilización cuando fuera posible y finalmente para cerrar el ciclo, el vertido de las aguas residuales depuradas en los cuerpos de agua receptores. Las

¹ Ingeniero Civil, INTEC-RD. Magíster Scientiae y Doctor en Ciencias Aplicadas por la ULA. Profesor Titular (J) CIDIAT ULA. Miembro Correspondiente por estado Trujillo de la ANIH-VE. Correo-e: caesji@ula.ve

² Ingeniero Químico y Magíster Scientiae en Planificación y Desarrollo de los Recursos Aguas y Tierras por la ULA. Magíster en Gerencia Ambiental por la UNEFA. Profesor Agregado del CIDIAT ULA. Correo-e: olivocyajaira@ula.ve

³ Ingeniero Químico, Magíster Scientiarum y Doctora en Ciencias de la Ingeniería, por la UCV. Profesora Titular (J) UCV. Individuo de Número Sillón XII de la ANIH-VE. Correo-e: griferrara1941@gmail.com

⁴ Ingeniero Químico y Magíster en Ingeniería Química por la LUZ. Doctora en Ingeniería Ambiental, Universidad de Sao Paulo, Brasil. Directora del Centro de Investigación del Agua, LUZ. Correo-e: yabroudic@yahoo.com

⁵ Ingeniero Agrónomo FA-UCV, Magíster Scientiae UDO-Stanford University. Individuo de Número Sillón XVII de la ANIH-VE. Individuo de Número Sillón V de la ACFIMAN-VE. Correo-e: eduardo.buroz@gmail.com

⁶ Ingeniero Civil, UCLA. Magíster Scientiae y Doctor en Ciencias Aplicadas por la ULA. Profesor Titular (J) CIDIAT ULA. Correo-e: lemoramora@gmail.com

⁷ Ingeniero Civil, UCV. Estudios de Magíster en INIEC de España. Correo-e: bechenique@gmail.com

aguas residuales depuradas, al cumplir las normas de emisión pautadas en la normativa legal, permitirán mantener una calidad adecuada en los cuerpos de agua receptores. La gestión del agua en forma integral promueve la sostenibilidad del recurso y puede optimizar su disponibilidad a largo plazo, que es un imperativo en cualquier plan de manejo de un recurso tan valioso como el agua.

Producto de esta investigación documental se desarrollarán los siguientes temas: 1) Contexto histórico. 2) Contexto legal. 3) Gobernanza en el sector APyS en Venezuela. 4) Los embalses como obras de captación. 5) Las obras de conducción como parte del “agua en alta”. 6) La potabilización del agua. 7) Las redes de agua potable: El reto de la gestión de infraestructura. 8) Sistemas de recolección de aguas servidas. 10) El manejo de las aguas residuales municipales, una necesidad ineludible. 11) Una propuesta con visión de futuro para el sector Agua Potable y Saneamiento en Venezuela.

1. Contexto histórico de la salud pública a partir de la Revolución Industrial del Siglo XIX en Inglaterra

En la era moderna el saneamiento tiene un punto de inflexión trascendental en el informe de Edwin Chadwick en 1842 titulado “Reporte general sobre las condiciones sanitarias de la población trabajadora en la Gran Bretaña”, el cual presentó ante el Parlamento Británico. Edwin Chadwick reformador social, abogado de profesión y presidente de la Comisión Legislativa de los Pobres del Parlamento, elaboró este documento con el apoyo del gremio médico inglés y a solicitud del Parlamento Británico. En su reporte describe las condiciones sanitarias de la clase obrera británica en los suburbios donde habitaban como “un miasma ambiental”. En este informe no sólo se describen las precarias condiciones de higiene y salubridad de la clase obrera, sino que además se proponen acciones para mejorarlas como dotar de agua segura a la población, la recolección y disposición de las aguas residuales y los desechos fisiológicos humanos fuera del entorno urbano, además de la recolección y disposición de los desechos sólidos. Es así, como en este documento del Parlamento Británico se sientan las bases de la Ingeniería Sanitaria y de la Ingeniería de Salud Pública. El informe de Chadwick tuvo influencia en Europa y en América, así como en la promulgación de la Ley de Salud Pública de 1848 en Inglaterra (ESPINOSA, 2022).

El saneamiento en Venezuela a partir de 1911. Desde la Oficina de Sanidad Nacional del Ministerio del Interior hasta la creación de HIDROVEN y sus filiales

El saneamiento en Venezuela se inició en el siglo XX bajo el paradigma de “la solución a la contaminación es su dilución”, que fue la estrategia a nivel mundial que prevaleció hasta mediados del siglo XX. En otras palabras, los ingenieros aspiraban lograr una dilución al menos 1 a 8 en volumen, de los líquidos residuales-crudos o tratados- en el cuerpo receptor.

GUTIÉRREZ (1998) citado por ESPINOSA (*ob.cit.*) presenta una cronología de hitos históricos en la temática de la salud pública, el abastecimiento de agua potable y el saneamiento en Venezuela. Afirma que en 1911 se estableció la Oficina de Sanidad Nacional (OSN) adscrita al Ministerio del Interior, que actuaba fundamentalmente en Caracas. En 1919 la OSN se transformó en la Dirección de Sanidad Nacional, responsable de la salud pública en el país, con las mismas limitaciones de personal y de recursos financieros para llevar su actuación a todo el territorio nacional. A partir de 1923 se dio inicio en Venezuela a un proceso de cambios basados en la actividad petrolera y a la distribución por parte del Estado de la renta del petróleo. La malaria y las precarias condiciones de salubridad en el medio rural eran un serio impedimento para el avance de la actividad petrolera en el país. Las empresas petroleras entendieron que era necesario mejorar la infraestructura de salud en el medio rural y exigieron a las autoridades venezolanas que les garantizaran condiciones básicas de salubridad. Hasta la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) en 1943 el saneamiento era ejecutado por las gobernaciones de estado y las alcaldías, mediante la implementación de pequeñas y sencillas obras hidrosanitarias. A partir del año 1943 el INOS asume la responsabilidad del abastecimiento de agua potable y el saneamiento en las ciudades capitales de estado y principales centros poblados del país. En paralelo, como consecuencia de lo anterior, el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) asume la responsabilidad del abastecimiento de agua potable y el saneamiento en las poblaciones menores. Esta condición se mantuvo, con ligeras variantes, hasta finales de la década de 1980. En 1991 la recién creada Empresa Hidrológica Nacional (HIDROVEN) y sus filiales las Empresas Hidrológicas Regionales (EHR), sustituyen al INOS, iniciándose así un proceso descentralizador de reestructuración del sector Agua Potable y Saneamiento en Venezuela. Es así como HIDROVEN y sus filiales asumen la responsabilidad de administrar, operar y mantener los sistemas anteriormente atendidos por el INOS. Las empresas hidrológicas implementan la misma modalidad de gestión del INOS, en la cual las gerencias estatales filiales se encargan de todo lo concerniente a la prestación del servicio, en muchos casos coordinados con las gobernaciones de estado y las alcaldías. A partir de 1999 el modelo de gestión descentralizado iniciado en 1991 es revertido, conservando la misma estructura organizativa de la empresa hidrológica nacional y sus filiales regionales.

No se puede dejar de mencionar que en 1975 se crea el Ministerio del Ambiente y los Recursos Renovables (MARNR), el primero de su tipo en América Latina, y que ya en 1976 produjo la 1ª ley Orgánica del Ambiente, que establecía los lineamientos y principios rectores para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de la vida, consagrando el principio del ecodesarrollo. Dentro de este orden de ideas, el MARNR le dio cabida con especial interés a la protección de los cuerpos de agua y en 1995 promulga las “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”, el conocido Decreto 883, que aún está

vigente. En estas normas subyace el objetivo de proteger los cursos y cuerpos de agua receptores (ríos, quebradas, estuarios, embalses, lagos, sectores marino-costeros) de los efectos dañinos y nocivos de las descargas contaminantes que se vierten en ellos. Por lo anterior se puede concluir que la organización de la prestación del servicio de agua potable y saneamiento en Venezuela, ha sido hasta ahora definida por el Gobierno Central, lo cual es razonable dentro de un modelo histórico centralista de la administración pública.

2. Contexto legal de los servicios de APyS en Venezuela

Venezuela cuenta con un sistema jurídico bastante robusto, con un amplio compendio legal que abarca desde la Constitución de la República y la suscripción a diversos Convenios y Acuerdos Internacionales, hasta normas de carácter sub-legal y técnico de obligatorio cumplimiento.

Como antecedentes históricos a este cuerpo jurídico se puede mencionar que en una época tan lejana como 1594 se emitió una ordenanza sobre la contaminación de aguas provenientes de tenerías (DE LOS RIOS, 2014), más tarde en 1825 el Libertador emitió en Chuquisaca (Bolivia) un decreto sobre Medidas de Conservación y Buen Uso de las Aguas (MARNR, 1979).

Sin ánimo de realizar una exhaustiva revisión del basamento legal que ampara este tema, se presentan a continuación los principales instrumentos legales asociados con el servicio de APyS en Venezuela.

Así, la **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela** (1999), alineada con el reconocimiento de los derechos humanos, señala en su artículo 82 el derecho del ciudadano a una vivienda con servicios básicos, lo que incluye el agua potable y el saneamiento. Asimismo, en su artículo 117 establece el derecho a bienes y servicios de calidad, con un reconocimiento directo a la competencia de los municipios en la prestación del servicio de APyS en el artículo 178. En torno a esto, en el artículo 304 se reconoce a las aguas como bienes de dominio público de la nación, esenciales para la vida.

Por otra parte, la **Ley Orgánica del Poder Público Municipal** (2006) establece las bases para la gestión del agua potable y el saneamiento a nivel municipal, señalando las responsabilidades de la prestación de estos servicios bien sea directamente por la administración municipal, a través de entes descentralizados como empresas municipales o mediante contratos con terceros (privados), así como la coordinación con otros niveles de gobierno para garantizar al ciudadano un servicio de calidad. Esta ley promueve la participación ciudadana en la planificación, ejecución, control y evaluación de los servicios. Sin embargo, en la última década, la medición de la opinión ciudadana ha quedado circunscrita a los boletines emitidos por organizaciones no gubernamentales y academias, como los del Observatorio Venezolano de Servicios Públicos o la Encuesta Nacional de

Condiciones de Vida (Encovi) de la Universidad Católica Andrés Bello, por citar un par de ellos.

En el binomio legal **Ley de Aguas** (2007) y su **Reglamento** (2018) se preconiza el uso eficiente del recurso, la reutilización de las aguas residuales y la conservación de las cuencas hidrográficas, todos criterios de extrema relevancia para un aprovechamiento sustentable del recurso. Asimismo, reconoce la gestión integral del agua como un elemento fundamental para la vida y su desarrollo, promueve el acceso equitativo a los servicios de APyS, así como el sistema económico financiero necesario para la implementación de esta gestión. FERRARA-GINER (2023) señala sobre esta ley que “con carácter estratégico y orientador y un horizonte de planificación de largo plazo se plantea el Plan Nacional de Gestión Integral de las Aguas”, para lo cual, la ley crea los Consejos de Regiones Hidrográficas que establecerían las estrategias y normas para la gestión integral de las aguas. Por su parte, el Reglamento de la Ley de Aguas implementa dicha ley, y, a su vez, revoca la Resolución N° 16 *Normas sobre el Registro Nacional de Usuarios y Usuarías de las Fuentes de las Aguas* y el Decreto N° 1.400 *Normas sobre la regulación y el control del aprovechamiento de los recursos hídricos y de las cuencas hidrográficas*.

Uno de los instrumentos legales más importantes en torno a la temática que ocupa la presente monografía lo constituye la **Ley Orgánica de Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento** (2007), que tiene por objeto regular la prestación de los servicios públicos de APyS, establecer el régimen de fiscalización, control y evaluación de tales servicios y promover su desarrollo en beneficio de los ciudadanos, la salud pública, la preservación de los recursos hídricos y la protección del ambiente. Se aplica sobre todos los prestadores de los servicios de APyS sean públicos, privados o mixtos, y a los usuarios y suscriptores. FERRARA-GINER (2023) resume los elementos clave de esta ley, señalando que este instrumento legal define como principios fundamentales la calidad de estos servicios públicos y el acceso de toda la ciudadanía a los mismos, y además

Le concede a los municipios la prestación y control de los servicios, a través de la creación de proveedores de servicios descentralizados, las Unidades de Gestión. La creación de un ente regulador la Oficina Regional para el Desarrollo de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento se prevé en esta. Para la regulación y control sobre la prestación de los servicios objetos de la ley se establece la creación de la Superintendencia Nacional de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento, ente que tendría entre sus funciones fomentar, definir y aprobar la creación de las unidades de gestión sostenibles que serían el corazón de la gestión e incluían la participación de proveedores de servicio descentralizados.

Por su parte, la **Ley de Reforma Parcial de la LOPSAPS** (2009) le daba un plazo de 6 años para que HIDROVEN realizara la transferencia a las municipalidades y aunque han ocurrido tímidos avances, al día de hoy, HIDROVEN y el

Ministerio correspondiente al tema del agua siguen realizando la mayoría de las funciones que les correspondería a los entes mencionados. Puede afirmarse que, aunque esta ley contiene muchas ideas acertadas para la gestión del agua potable y saneamiento, la falta de reglamentación después de 19 años de aprobada, y la falta de concreción de los organismos encargados de velar por esa gestión y previstos en ella, han impedido la modernización del sector.

Las **Normas sanitarias de calidad del agua potable** (1998) establecen los límites máximos permitidos para componentes y características del agua que puedan representar un riesgo para la salud o afectar la preservación de los sistemas de distribución. Estas normas aplican a entes públicos y privados responsables del suministro de agua potable. Asimismo, otorga a la autoridad sanitaria la competencia del establecimiento de los plazos para la instalación de sistemas o procedimientos para el tratamiento de las aguas o los cambios o complementos de las fuentes de abastecimiento, de manera que se cumpla con los requisitos de potabilidad exigidos en la normativa.

Por último, considerando que el uso de camiones cisterna representan la opción más viable como medida de emergencia de aprovisionamiento de agua para el uso humano, en 1995 se publicaron las **Normas Sanitarias para el Control de Agua Potable Transportada en Camiones Cisternas** (1995), que establecen los requisitos que debe presentar el agua destinada al consumo humano, a fin de garantizar sus condiciones sanitarias para que no afecte la salud de quienes la utilizan. Es de hacer notar que, debido a la crisis en los servicios públicos que se ha agudizado en la última década, el transporte en camiones cisterna no solo representa una medida de emergencia, sino que se ha convertido en la forma más común de aprovisionamiento de agua para la mayoría de la población, pues según reseñas en varios informes del Observatorio Nacional de los Servicios Públicos, a nivel nacional se evidencia una valoración negativa en el servicio de agua potable de manera sostenida. No obstante, el usuario final del agua por cisterna no tiene acceso a información respecto a los sitios de llenado, la permisología que acompaña a los camiones empleados, el cumplimiento de los protocolos para la limpieza y desinfección de la fuente o de los sitios de llenado y de los tanques, y la capacitación técnica del personal involucrado, quienes, según la normativa, son considerados como manipuladores de alimentos. Con ello, la falta de información aunado a la falta de cumplimiento de esta normativa, incrementa los riesgos a la salud pública que puede conllevar el consumo de agua en condiciones no aptas para el ser humano.

Luego de esta breve revisión, se puede observar que, a pesar del amplio y robusto compendio normativo, es importante acotar que se requiere la actualización de gran parte del mismo, pues en materia de agua potable y saneamiento, la compleja dinámica nacional en la última década ha obligado a reconsiderar el servicio tanto desde el punto de vista del prestador (público o privado), como desde la perspectiva del usuario, como principal afectado.

3. Gobernanza en el sector APyS en Venezuela

La gobernanza en el sector APyS es primordial para que estos servicios, esenciales y reconocidos como derechos humanos fundamentales, sean la base del desarrollo humano, como se muestra a continuación.

Concepto de gobernanza y de gobernanza del agua

La gobernanza debe entenderse como un proceso dinámico donde la teoría orienta la acción, pero es la práctica -la implementación concreta de políticas y proyectos- la que valida y enriquece esa teoría.

El desarrollo práctico de la gobernanza implica un enfoque sistémico (marco jurídico) y adaptativo, basado en la interacción de múltiples actores, la descentralización, la democratización, la creación de espacios de diálogo, el fortalecimiento institucional y la evaluación constante de los procesos y resultados.

La gobernanza práctica requiere la interacción entre diferentes actores: Estado, sociedad civil, sector privado y comunidades locales. La calidad de la gobernanza se refleja en la manera en que estos actores negocian prioridades, toman decisiones y utilizan el poder de forma compartida y cooperativa.

La gobernanza se debe entender como un sistema de relaciones entre lo público y lo privado y por tanto sujeto a criterios lo adecuadamente amplios para permitir laxitud suficiente en el proceso de negociaciones y competentemente estructurado para evitar discrecionalidades que luego se vean limitadas por disposiciones legales o indisponibilidades presupuestarias. Se trata de proveer márgenes a los responsables de los procesos de gobernanza, pero acotar sus decisiones. Esto implica crear espacios de negociación equitativos y mecanismos de diálogo entre los actores involucrados.

Gobernanza de APS ¿Por qué? ¿Para qué? Opiniones a favor y críticas

Los modelos de gobernanza se van imponiendo en los países más avanzados, ya que constituyen un modo de corregir las imperfecciones de la democracia. Esto es particularmente notorio en el caso del agua, donde se requiere conocimiento especializado en los responsables de tomar decisiones.

En el caso de los Alcaldes, la propuesta de candidatos y las preferencias de los electores no suelen considerar capacidades técnicas sino condiciones de liderazgo y movilización política.

Por esa razón en estudios sobre complementación de capacidades para alcanzar un mejor de gobierno local en lo relativo a la gestión del agua potable y saneamiento se ha propuesto un cambio de foco: de las autoridades locales a la sociedad civil organizada.

Sin embargo, ese enfoque ha sido cuestionado a favor de la estructuración de un adecuado equipo técnico – gerencial al frente de las unidades gestoras de los servicios de agua potable y saneamiento.

Este modelo a su vez implica la alternativa de: si este equipo debe estar constituido por funcionarios de estado o por delegación del estado a empresas especializadas del sector privado, con factor común que en ambos casos cumplan con la premisa de conocimiento a fondo del servicio de APS, de modo que sean capaces de proporcionar agua de calidad, en cantidad, continuidad y presión.

Se argumenta que, si esta condición se cumple, la sociedad no se movilizaría en exigencias sobre el servicio y por tanto no se requeriría de gobernanza.

Por eso el otro foco es gobernabilidad o capacidad del sistema político para gobernar y responder a las demandas de la sociedad. Lo que requiere de buena gerencia. Lograr esta condición por vía de gobernabilidad o de gobernanza permite asumir una posición de exigencia, puesto que si se ofrece un servicio de calidad se puede solicitar el pago justo como contraprestación del servicio.

El buen servicio resultado de una buena gobernanza o una gobernabilidad correctamente ejercida plantea a los usuarios actuales una importante decisión, deben pagar un incremento de costo para cubrir inversiones futuras o solo el costo de la depreciación de activos para contar con los fondos requeridos al término de los diversos periodos útiles de los componentes del sistema. La justicia social se resuelve con precio medio y tarifas combinadas que lo alcancen.

Si hay desarrollo y crecimiento económico que faculte un mejoramiento en el ingreso familiar y se reconoce la contribución que presta un buen servicio de agua potable, el sufragar la calidad servicio no será parte importante del presupuesto familiar y no se exigirán mecanismos de gobernanza.

Por eso las soluciones de ingeniería no basta con que sean eficaces deben ser además eficientes para cumplir con el propósito final de un agua que pueda denominarse potable: dar agua de calidad, continuidad, cantidad y presión al menor costo posible.

Si el Estado no es capaz de proveer la gerencia y los técnicos necesarios para satisfacer un servicio cabal de agua potable y saneamiento y si tampoco lo decide la administración privada, debe estimular la gobernanza para complementar las fallas de capital humano. La siguiente pregunta es ¿cómo materializar ese aporte complementario?

Lo primero es la decisión política de aceptar la gobernanza, lo que a la vez implica conocer si la sociedad civil está en condiciones de aportar el capital humano capaz de guiar a los empleados gubernamentales responsables de la ejecución de

las orientaciones y recomendaciones provenientes de su contribución.

Un argumento adecuadamente estructurado como antítesis de la gobernanza es el requerimiento de capacidades en los candidatos de alcaldes a elegir, la conveniencia de su formación en políticas públicas, su comprensión del gobierno municipal, su capacidad de evaluar los recursos disponibles y proveer soluciones para complementar los de mayor necesidad y urgencia, incluyendo su liderazgo y disposición a usar los recursos que puede proveerle la sociedad civil.

En el espacio político municipal pueden suceder múltiples combinaciones que determinen la necesidad de gobernanza, pero también pueden darse gobiernos municipales conscientes del rol que deben desempeñar, de las tareas que imponen las leyes que regulan la dirección de la sociedad a nivel local y su compromiso con la ciudadanía frente a directrices de los niveles de gobierno ascendente.

La existencia de estos gobiernos locales con estas capacidades refuerza la antítesis de la gobernanza en pro de gobernabilidad mediante la formación de los posibles alcaldes en cuanto a identificar los problemas que agobian a los ciudadanos, a desarrollar estrategias reales para resolver esos problemas, a reclamar recursos y encontrar soluciones para generar los fondos necesarios, a comprender que goza de un poder que debe ejercer con y para los ciudadanos.

Si ello no ocurre es el momento de acudir a la gobernanza como opción capaz de lograr una adecuada conducción del gobierno de abajo hacia arriba. La participación de la sociedad civil en la gestión del agua potable y saneamiento debe ser organizada con expertos que orienten al gobierno local. Esa es la línea de acción que se está tomando en muchos países de Iberoamérica. La idea es lograr la participación en el modelo de gobernanza a desarrollar de una sociedad civil organizada y capaz técnicamente, como pudieran ser las sociedades gremiales que dispondrían del conocimiento para orientar a las autoridades. Este sería un enfoque idóneo de complementar y mejorar las fallas de las alcaldías. Lo otro son las concesiones administrativas de operación y mantenimiento de servicio, como en España, donde el sistema es operado por empresas privadas altamente especializadas.

Retomando el tema de la municipalización, vistas las experiencias de treinta y cinco años de las decisiones de regionalización con miras a la municipalización, hay argumentos valiosos que consideran que el sistema de gestión debe mantenerse a nivel regional. A ese nivel las posibilidades de gobernanza disminuyen.

Las razones que se argumentan para no descentralizar a nivel municipal son: que los sistemas de abastecimiento agua son unidades territoriales complejas que comprenden fuentes localizadas a amplias distancia de las ciudades, con líneas de conducción que requieren grandes tuberías y estaciones de bombeo, que están sujetas a múltiples riesgos, que pueden

afectar de improviso la operación, que al arribar a las ciudades se desagregan en complejas redes de distribución que deben gestionarse interconectadas en la medida de lo posible para suplirse mutuamente en caso de fallas de un sistema que posee múltiples elementos mecánicos que deben funcionar al unísono y cuyos mecanismos de redundancia son reducidos debido a la propia estructura del sistema. Además, los sistemas de abastecimiento de aguas no coinciden en lo absoluto con los límites municipales y mucho menos parroquiales y exigen una escala de millones de clientes para ser económicamente viables.

Por todas estas razones la experiencia a nivel de estados y municipios del servicio de agua potable y saneamiento debe ser revisada con base a las prácticas en gestión de los sistemas regionales.

La gobernanza del agua en Venezuela

La LOPSAPS establece como instrumento de gobernanza del servicio de agua potable y saneamiento Las Mesas Técnicas de Agua, las cuales son opcionales y su constitución depende de la voluntad de los usuarios como se puede apreciar en lo establecido en el artículo 75 de la ley. Su carácter general es de receptor de información, opinante y contralor. Su reglamento de funcionamiento lo dicta el municipio siguiendo orientaciones de la Superintendencia Nacional de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento. Se constituyen bajo normas contenidas en el Código Civil y se registran ante la Superintendencia. Al considerar la especificación de sus actividades (artículo 77) se aprecia que el literal 77e las faculta para proponer los planes y programas que pudieran concederse a los suscriptores para el pago de la prestación de los servicios, es decir negociar el modo de materializar la contribución pecuniaria por la contraprestación del servicio.

Cuando se comparan las facultades previstas en la Ley con las aspiradas por la teoría de la gobernanza se aprecia que estas son restringidas respecto a las deseables y que el proceso debe ser objeto de acumulación de experiencias y análisis para proponer cambios que amplíen el alcance de las acciones de gobernanza.

El índice APGAR como una métrica efectiva del estado de buena salud o gobernanza del sistema

El Índice APGAR es una herramienta de evaluación que se utiliza para medir el desempeño de las Empresas de APyS. Originalmente, el término "APGAR" de su acrónimo en inglés (*Appearance, Pulse, Grimace, Activity, Respiration*) refiere a un índice utilizado en medicina para evaluar la salud de los recién nacidos, pero en el contexto de las utilidades de agua, se ha adaptado para evaluar la eficacia y eficiencia de estas organizaciones en la prestación de servicios (12). Para el servicio de APyS se puede traducir como como A (Acceso), P (Performance), G (Gestión) A (Asequibilidad), R (Recuperación de Costos). Los índices e Indicadores en que se basa APGAR son: i) Cobertura del Agua Potable, ii)

Cobertura del Saneamiento, iii) Índice de Agua No Contabilizada ANC, iv) Período de recuperación de costos, v) Relación de cobertura de costos operativos y vi) Asequibilidad al servicio por los usuarios.

El índice se evalúa del 1 al 10 o al 12, si se toma en cuenta la cobertura del saneamiento. Este índice permite evaluar rápidamente el estado de Empresas de APyS, obteniéndose los siguientes valores de referencia:

- a) Críticamente bajo $< 0 - 3,5$.
- b) Bajo $\geq 3,6$ y $\leq 7,2$.
- c) Normal $> 7,2$.

Este Índice fue estudiado por MORA *et al.* (2020) y recomendado para toda América Latina y el Caribe, para establecer estados iniciales de vulnerabilidad frente al Cambio Climático.

Para el caso del ANC (agua no contabilizada), se recomienda que los sistemas deben evolucionar a índices que expresen de mejor manera el estado de pérdidas físicas del sistema como índice lineal en ($\text{m}^3/\text{km}/\text{d}$) para densidades menores a 20 suscriptores por km, e índice estructural de pérdidas (ILI) para densidades mayores a 20 usuarios por km, este último ampliamente recomendado por el Banco Mundial (WB) y discutido en investigaciones realizadas en el CIDIAT-ULA.

4. Los embalses como obras de captación

Los embalses, que son obras de regulación de caudales, son la fuente de captación más utilizada en Venezuela para el abastecimiento de agua, por cuanto nuestro régimen climático nos enfrenta a periodos secos y de lluvias y debe acumularse el agua producida en las épocas de lluvias abundantes para que nos surta durante la época de verano. No se puede desdeñar los otros múltiples usos que nos prestan los embalses que incluyen además del abastecimiento, el riego, el control de inundaciones, el industrial y en particular fuente de hidroelectricidad. Se estima que 81 grandes embalses, entre los 105 construidos, son los que sirven como fuente de abastecimiento a los núcleos urbanos. Más de 100 de estos embalses fueron construidos entre 1929 y 1998. Existe consenso en que la primera línea de acción para resguardar la calidad del agua que recibimos los consumidores finales, es la protección primaria de los embalses y por ende de sus cuencas protectoras, ambos espacios vitales a conservar. Esta acción permite disminuir gastos de operación de las potabilizadoras. Es compartida por la comunidad científica y tecnológica y los entes mundiales que velan por el recurso. Debería ser aceptada y ejecutada por instituciones gubernamentales y municipales que tienen entre sus obligaciones el servicio de abastecimiento de agua a las poblaciones (FERRARA-GINER, 2023).

Si queremos proteger el producto esperado en un embalse para abastecimiento: agua cruda de calidad apropiada como fuente, la protección integral de la cuenca hidrográfica es un

imperativo. Es menester protegerla de las diversas manifestaciones degradantes por la intervención humana.

Captaciones de agua mediante embalses y sus obras anexas

Desde el punto de vista hídrico Venezuela puede considerarse un país privilegiado. Ocupa el 21° lugar en la lista de los países con mayor disponibilidad del recurso agua per cápita del mundo ($51.000 \text{ m}^3/\text{p/año}$), según los datos de disponibilidad mundial de agua del 1° Informe sobre los Recursos Hídricos en el Mundo de las Naciones Unidas (UN-WATER/WWAP, 2003). Conforme a la Ley de Aguas el país se divide en dieciséis (16) regiones hidrográficas como se muestra en la Figura 1.

El patrón de ocupación del territorio nacional iniciado por los europeos en el siglo XV ha dado como resultado que el 90% de la población se ubica al norte del río Orinoco (los Andes, la planicie de Maracaibo y los sistemas montañosos del norte costero) donde se localiza el 10% de la disponibilidad hídrica, y en contraste el 10% de la población se localiza al sur del río Orinoco donde está disponible el 90% del agua. Esta realidad ha obligado al Estado Venezolano a construir en el siglo pasado unas 80 grandes presas con sus embalses y sus obras anexas, al norte del río Orinoco, con la finalidad de hacer compatible la variabilidad temporal y espacial de la disponibilidad del agua. La Tabla 1 presenta los diferentes usos del agua en las 16 regiones hidrográficas de Venezuela conforme a la Ley de Aguas.

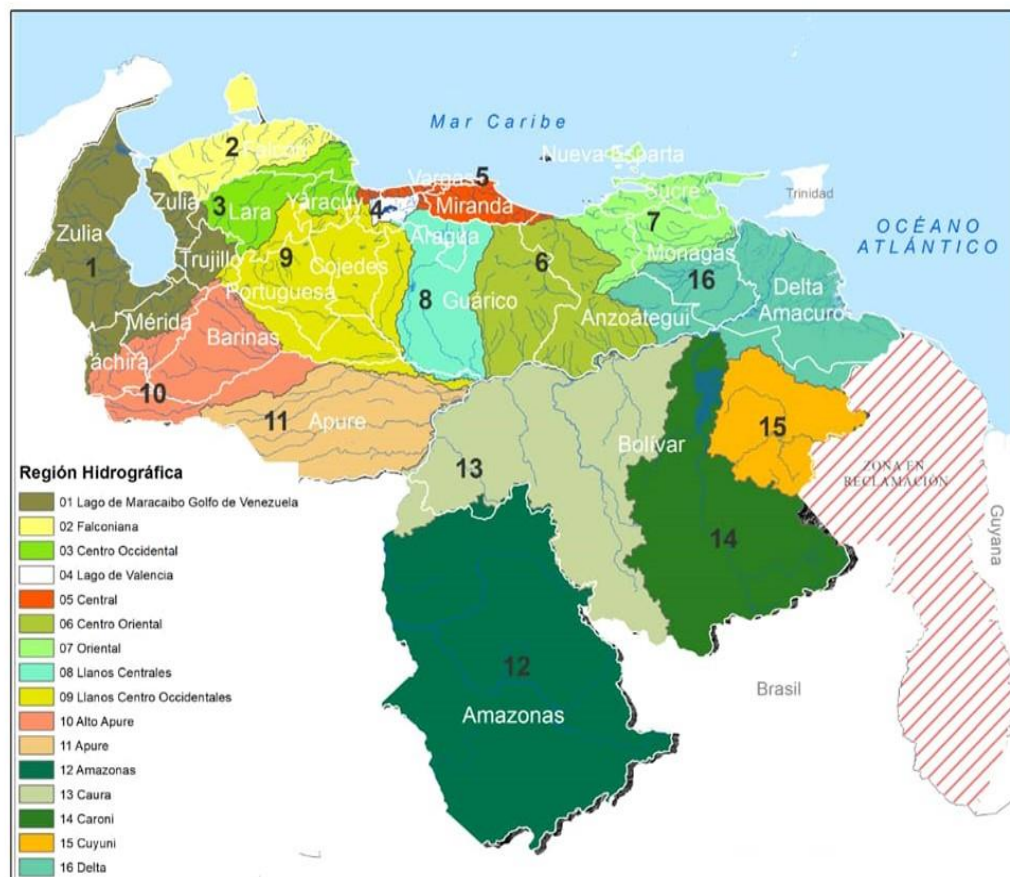


Figura 1. Regiones hidrográficas en Venezuela conforme a la Ley de Aguas. Tomado de: ESPINOSA *et al.* (2023).

Un inventario de embalses, basado en MINAMB (2020), confirma la existencia de ciento cinco (105) embalses en la geografía nacional, siendo sus usos: abastecimiento humano, riego, hidroelectricidad, control de inundaciones, industrial, recreación, retención de sedimentos, de manera fundamental. De ese total, el Ministerio del Ambiente (MINAMB) gestionaba treinta y ocho (38); la C.A. Hidrológica de Venezuela (HIDROVEN), cuarenta y dos (42); la C.A. de Administración y Fomento Eléctrico (CADAFE), cinco (5), el

Ministerio de Energía y Petróleo (MEP), uno (1); la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), nueve (9); Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), uno (1); sector Privado, cuatro (4); en construcción, cinco (5). (ESPINOSA *et al.*, 2023).

Los embalses cuyo propósito es la generación eléctrica, en total diez (10), no fueron tomados en cuenta en el siguiente análisis. Por otro lado, es bueno resaltar la condición

multipropósito de cuarenta y cuatro (44) reservorios. Descontados al total de embalses (105), los que están en construcción (5), los que se encuentran fuera de servicio (9), los que no presentan información (9) y los de generación eléctrica (10), se obtiene un total de setenta y dos (72) embalses. (ESPINOSA *et al.*, 2023).

La Tabla 2 presenta un resumen de las características más relevantes del conjunto de embalses construidos y en operación en Venezuela (72 en total destinados a abastecimiento humano, agropecuario e industrial) en las

distintas regiones hidrográficas conforme a la Ley de Aguas. Se puede observar que en conjunto estos 72 embalses totalizan una capacidad de almacenamiento de 21.941,91 Hm³, un espejo de agua total al nivel normal de operación de 123.928,39 ha, una vida útil promedio de 92,1 años y un tiempo de servicio promedio de 52,3 años. Lo anterior significa que, para el conjunto de los 72 embalses en operación en el país con propósitos de abastecimiento humano, industrial y agropecuario, sus años de servicio están próximos a la mitad de su vida útil.

Tabla 1. Usos beneficiosos del agua en las 16 regiones hidrográficas de Venezuela conforme a la Ley de Aguas.

N°	Regiones Hidrográficas	Principales Usos Beneficiosos del Agua				
		Consumo				Gasto Ecológico
		Consumo Humano	Industrial	Agropecuario	Hidro-electricidad	
1	Lago de Maracaibo y Golfo de Venezuela					
2	Falconiana					
3	Centro-Occidental (Tocuyo-Aroa-Yaracuy)					
4	Lago de Valencia					
5	Central (Tuy-Litoral Central)					
6	Centro Oriental					
7	Oriental					
8	Llanos Centrales					
9	Llanos Centro-Occidentales					
10	Alto Apure					
11	Apure					
12	Territorio Amazonas (Alto Orinoco)					
13	Caura					
14	Caroní					
15	Cuyuní					
16	Delta					

Nota: El color blanco significa que el uso correspondiente es "no significativo" o "no se practica"
Tomado de: ESPINOSA *et al.* (2023).

La operación de estos embalses obedece a reglas de operación que hay que establecer para distintos escenarios en cada caso, las cuales deben considerar los aportes por escorrentía que llegan al embalse, la evaporación en el espejo de agua y las diferentes demandas a satisfacer (agua para consumo humano, uso agropecuario y uso industrial y control de inundaciones si es el caso). Es importante, además, desde ya y a futuro, considerar al definir las reglas de operación de los embalses los efectos del cambio climático en el balance de agua, tanto en la escorrentía, en la evaporación y en el consumo por parte de los usuarios, entre otros aspectos.

Otro aspecto importante a considerar a mediano y largo plazo, es el seguimiento del asolvamiento de los embalses

mediante la realización sistemática de batimetrías. Lo anterior permitirá conocer los volúmenes de sedimentos retenidos en el vaso, que progresivamente disminuyen su capacidad de almacenamiento.

Estas consideraciones permitirán una más adecuada operación y por lo tanto mejor cumplimiento, con menor incertidumbre de las entregas de agua requeridas y conocer en el tiempo la disminución del volumen de almacenamiento por entrada de sedimentos y su influencia en la curva elevación-área-capacidad de cada embalse.

Tabla 2. Resumen de las Características de los setenta y dos (72) embalses para las 16 Regiones Hidrográficas, cuyas aguas son destinadas para usos humano, industrial y agropecuario.

Región Hidrográfica (R.H.)	Área (Ha.)	Capacidad (Hm ³)	Vida Útil (años)	Servicio (años)
Región Hidrográfica N°1: Lago de Maracaibo y Golfo de Venezuela	12.969,59	1.089,33	100	44,75
Región Hidrográfica N°2: Falconiana	6.512,88	569,74	74	59,5
Región Hidrográfica N°3: Centro-Occidental	6.934,03	771,01	100	45,9
Región Hidrográfica N°4: Lago de Valencia	2.883,80	133,84	100	74
Región Hidrográfica N°5: Central	2.153,70	7.628,73	95	56,2
Región Hidrográfica N°6: Centro-Oriental	22.869,83	1.445,51	87,5	45,1
Región Hidrográfica N°7: Oriental	3.268,00	770,55	70	55,4
Región Hidrográfica N°8: Llanos Centrales	31.184,52	3.469,42	87,5	51,5
Región Hidrográfica N°9: Llanos Centro Occidentales	30.954,17	5.193,18	91,7	49,7
Región Hidrográfica N°10: Alto Apure	3.690,87	856,50	100	34
Región Hidrográfica N°15: Cuyuní	399,50	10,26	100	52
Región Hidrográfica N°16: Delta	107,50	3,84	100	70
Total Embalses en R.H.	123.928,39	21.941,91		
Promedios Embalses en R.H.			92,1	53,2

Tomado de: ESPINOSA *et al.* (2023).

Problemas presentados en embalses en el país

En Venezuela existe una red de parques nacionales muy bien estructurada y un 83% del consumo nacional de agua dulce está provista por cuencas protegidas por estas Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (GRUPO ORINOCO, 2018). La acción protectora que proveen estas cuencas sobre la cantidad y calidad del agua producida estaba en el pensamiento de los que propiciaron la creación de esa extensa red de parques. No obstante, el crecimiento de la población y por ende el cambio en el uso del suelo para soportar diversas actividades antrópicas como las agropecuarias no sustentables, el aprovechamiento forestal, la minería, la hidroelectricidad, la industria y el turismo se han contrapuesto a esta acción protectora original y producido en consecuencia la degradación de estas cuencas. También debe señalarse que en cuencas hidrográficas situadas en zonas fuera del ámbito de los parques nacionales se dan estas mismas condiciones de degradación. En consecuencia, puede resumirse que a todas las cuencas productoras del preciado recurso que es el agua, se les debe prestar la máxima atención para que no dejen de proveer los servicios ambientales que les son propios.

Se maneja como acciones a tomar en cuenta para la protección de los embalses, la necesidad del adecuado monitoreo y gestión de sus componentes fundamentales: presa, obras de toma y descargas de fondo y aliviaderos, todos requeridos para preservar su estabilidad. A esto se une la consideración de buenas prácticas agrícolas, métodos de

arado y pastoreo sostenibles en las cuencas proveedoras, por el potencial de erosión de los suelos de estas actividades, que dan lugar a contribuciones excesivas de sedimento al embalse, provocando disminución de su vida útil. (GRUPO ORINOCO, 2018)

Una de las preocupaciones más relevantes relacionada con el resguardo de las cuencas protectoras de los embalses, es el inquietante problema de la eutrofización cultural, ocasionado por actividades antrópicas generadoras de nutrientes y que consiste en el crecimiento excesivo de fitoplancton y plantas acuáticas en cuerpos de agua lénticos, es decir de poco movimiento, como es el caso de estos reservorios (FERRARA-GINER, 2023)

Los nutrientes y básicamente el fósforo y el nitrógeno, son los principales causantes del incremento de la productividad primaria y por ende del fenómeno de la eutrofización. Sus orígenes son las escorrentías de suelos con actividad agropecuaria y la descarga de desechos líquidos municipales. Se forman grandes masas de algas y cianofíceas que provocan turbiedad en el cuerpo de agua e impiden el paso de la luz y por tanto de la fotosíntesis productora de oxígeno y, por otra parte, la materia orgánica originada produce un incremento de la actividad metabólica aerobia que pronto conduce a la anoxia provocando desaparición de especies. El exceso de fitoplancton produce conflictos de usos con la irrigación, producción de peces, control de inundaciones y recreación, además, bloquea los sistemas de filtración empleados en las plantas potabilizadoras alimentadas por las aguas del embalse,

confiriéndole malos olores y sabores al agua, problema de calidad que se agrava si se toma en cuenta que algunas cianobacterias pueden liberar neurotoxinas y hepatotoxinas al agua (FERRARA-GINER, 2023).

En Venezuela, la eutrofización está presente, en diferentes etapas, en muchos de los embalses que nos abastecen de agua, en algunos casos en niveles avanzados que alcanzan el caso de hipereutrofización, y provocan que los sistemas convencionales de potabilización abastecidos por estas aguas no puedan cumplir los estándares de tratamiento normados. Tales sistemas de potabilización fueron diseñados para tratar agua cruda proveniente de fuentes de abastecimiento en las que se cumplía la premisa de constituir la primera barrera de defensa de la calidad del cuerpo de agua, y en el caso de la eutrofización esta premisa no se cumple.

Un caso emblemático de esta situación lo constituye el embalse Pao-Cachinche que alimenta la Planta de Potabilización Alejo Zuloaga en Valencia y se enmarca en la situación descrita de ausencia de un plan de protección de la cuenca, que lo ha llevado a un proceso de eutrofización acelerada. Investigadores como GONZÁLEZ *et al.*, (2004) y GONZÁLEZ Y MATOS (2012) han seguido el comportamiento del embalse por más de 10 años y sus resultados muestran que se encuentran grandes densidades de algas y especialmente representantes de las cianobacterias, algunas de las cuales pueden producir toxinas. Sus aguas se usan para agricultura de subsistencia y uso pecuario, además de ser la fuente para agua potable del área metropolitana de Valencia y otras poblaciones de los estados Carabobo, Cojedes y Aragua, que en conjunto tienen más de 2 millones de habitantes. El embalse recibe una carga de nutrientes, principalmente de los ríos afluentes Pao y Chirgua. En la zona existen granjas avícolas y porcinas y aguas residuales de diferente origen. Se detectan altas concentraciones de nutrientes y una condición de hipoxia y anoxia a partir de los 7-10 m de profundidad, características que permiten clasificarlo como un cuerpo de agua hipereutrófico. El agua del embalse Pao-Cachinche es una de las fuentes principales de abastecimiento de Valencia, ciudad que desde 2005 ha presentado problemas de calidad del agua potable ofrecida a los consumidores, profusamente narrados en medios de comunicación social ante el clamor de los usuarios y sin duda existe una relación entre el hecho cierto de la hipereutrofización del embalse y la escasa calidad del agua entregada. La planta Alejo Zuloaga fue diseñada para operar con agua cruda proveniente de un embalse bien gestionado, utilizando un proceso convencional de potabilización. Lamentablemente no es el caso actual (FERRARA-GINER, 2023).

Otra problemática que se presenta en las cuencas protectoras de los embalses y que por lo tanto le atañe al mantenimiento de la calidad de estos reservorios, lo constituye la ocurrencia de los incendios de vegetación, bien sea por quema de residuos vegetales al talar árboles para establecer conucos o quema de sabanas para ampliar las áreas para el ganado o quema de basuras o accidentes. Es una

situación que se repite anualmente cuando se queman miles de ha de terreno por estas causas, y que podría prevenirse y controlarse si existieran planes de gestión que los incluyan. Asimismo, las aguas servidas no tratadas y producidas en centros poblados o industrias asentados en la cuenca y los agroquímicos producto de las actividades agrícolas son un factor ambiental degradante adicional.

Acciones a tomar para la protección de las cuencas hidrográficas proveedoras de los embalses

Dado el vital papel que cumplen las cuencas hidrográficas productoras en la protección de la calidad del agua cruda que servirá de fuente a las plantas de potabilización del agua que recibirán los consumidores, es menester tomar una serie de acciones preventivas y correctivas sobre las mismas, que sin duda inciden en su gestión. FERRARA-GINER (2023) reseña las siguientes acciones a tomar en cuenta:

- Lo primero es abordar la evaluación de la capacidad actual y la operatividad de sus componentes esenciales como son la presa, las obras de toma y descargas de fondo y los aliviaderos (ECHENIQUE, *et al.*, 2025).
- Monitoreo de la calidad de las aguas de la fuente en forma sistemática. El conocimiento de las características de las aguas permite avistar valores extraordinarios con tiempo para tomar acciones preventivas antes de que la situación se desboque.
- Las mediciones hidro-meteorológicas, muy abandonadas en los últimos años, deben retomarse. La puesta en marcha de la red de estaciones de medición de tales variables, que existían en todo el territorio nacional, y que lastimosamente se ha venido a menos, es una tarea que las instituciones gubernamentales a cargo deben acometer.
- El control de la contaminación por aguas residuales, producto de las actividades antrópicas realizadas en la zona de influencia de la cuenca.
- Evitar la deforestación especialmente en las zonas con pendiente y a lo largo de los cauces y por el contrario realizar labores de reforestación. La modificación de la cubierta vegetal debe controlarse. El incremento de la vegetación arbórea juega un papel primordial en la conservación de los suelos y evita la erosión y degradación de los mismos.
- Medidas de prevención y control de los incendios forestales. Cuando llega la estación seca aparece la amenaza de los incendios. Medidas preventivas como el corte de los matorrales que son propagadores eficaces del fuego están entre medidas muy económicas pero efectivas. Contar con un cuerpo de bomberos forestales equipados con tecnologías modernas y que conformen una red que cubra las cuencas hidrográficas productoras es primordial.

- Encarar con la atención que amerita, el problema de la eutrofización de un gran número de embalses. El control del aporte de nutrientes (P y N) a las cuencas tiene que incluirse en los planes de gestión.
- Alentar el uso de prácticas de agricultura y ganadería sostenibles. No pueden permitirse agricultura y ganadería extensiva, propias de otros tipos de territorio. La planificación territorial debe tomar en cuenta cuales son los usos de la tierra más convenientes.
- Los agricultores y ganaderos ya establecidos en estas áreas deben ser capacitados para acometer sus labores en forma sostenible. Uso de abonos ecológicos. Desestimular el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos. Sembrar siguiendo prácticas de agricultura conservacionista.
- Un importante paso, en el tránsito hacia una gestión óptima del servicio, lo constituye la incorporación de los entes institucionales previstos en la LOPSAPS y la Ley de Aguas, y cuyas funciones para la regulación, control y prestación del servicio y la formulación de políticas y planificación estratégica permitirían alcanzar una buena gestión.
- Para la gestión de las cuencas, se deben buscar acuerdos entre los diversos sectores implicados, desde los habitantes originarios, los agricultores y ganaderos que usan la tierra para sus cultivos y para sus animales, algunos establecimientos industriales que pudieran estar asentados y los que tienen la responsabilidad a nivel gubernamental. Muchas veces los intereses de cada sector son contradictorios y debe buscarse armonizar entre las partes.
- La educación ambiental de los habitantes de la cuenca es una medida preventiva de primer orden y su costo es mucho menor que otro tipo de medidas que a veces se promueven.

La sedimentación de los embalses es otro problema que debe controlarse. En el país tenemos claros ejemplos de embalses que están prácticamente inutilizables para su función de fuentes, por la sedimentación alcanzada, como el caso de Maticora (estado Falcón).

Vigilancia del cumplimiento del marco jurídico existente que permite, al menos parcialmente, la preservación y manejo del recurso.

5. Las obras de conducción como parte del “agua en alta”

Las obras de conducción, en conjunto con las captaciones (de fuentes reguladas o no) y las plantas de potabilización, conforman los denominados “sistemas de producción” o de “agua en alta”; a través de dichas conducciones se transporta el agua desde las fuentes hasta la entrada a los centros de consumo. Vale destacar la importancia de esta infraestructura a la hora de determinar el agua producida y definir transacciones de “agua en bloque” y puntos de entrega entre operadores de abastecimiento de agua potable.

En Venezuela las grandes conducciones están asociadas a los mayores centros de consumo del país cuyos crecientes requerimientos de agua potable generaron la necesidad de utilizar fuentes con rendimientos suficientes para cubrir las demandas estimadas para el largo plazo. Las fuentes de abastecimiento de estas conurbaciones están localizadas a distancias considerables de dichos centros de consumo y en varios casos, con desniveles importantes a vencer.

Las principales conducciones se describen a continuación en la Tabla 3, tomado del informe no publicado de CIUDADANÍA SIN LÍMITES (2020), proveniente del cierre del *Diplomado “Programa de Formación de Gerentes para la Industria del Agua y Saneamiento”*, realizado por IESA entre los años 2020-2021.

Tabla 3. Principales obras de conducción en Venezuela.

Acueducto Metropolitano de Caracas	Abastece a los municipios Libertador, Baruta, Chacao, El Hatillo, Sucre del área metropolitana de Caracas, a los municipios Guaicaipuro, Carrizal, Los Salias del Estado Miranda y al estado Vargas (La Guaira).	
	<i>Sistema Tuy I</i>	Tubería de acero de 35 km de longitud, diámetro de 48”, estaciones de bombeo: 11, 12, Intermedia, 13 y 14. Cuatro chimeneas.
	<i>Sistema Tuy II</i>	Tubería de acero al carbono de 60 km de longitud, en su mayoría diámetro de 74”; 2,1 km de túnel; estaciones de bombeo: 21, 22, 23, 24, 25. Aproximadamente 80 ventosas y descargas.
	<i>Sistema Tuy III</i>	Tubería de 76 km de longitud, diámetros 85” y 100”; estaciones de bombeo: 31, Mamonal, 32, 33. Válvulas de descarga y ventosas.
Acueducto Regional del Centro	Abastece las ciudades de Valencia y Maracay y diversos centros poblados de los estados Carabobo y Aragua ubicados a lo largo de las aducciones.	

<i>ARC I: Embalse Pao - Cachinche - Planta de Potabilización Alejo Zuloaga.</i>		Primer tramo de acero, 3,2 km de longitud y diámetro 1800 mm, con E/B Cachinche; posteriormente bifurcación en paralelo por 31 km, diámetros de 1400 y 1350 mm. Dos chimeneas.
<i>ARC II: Embalse Pao La Balsa - Planta de Potabilización Lucio Baldó- Valencia- Maracay:</i>		Desde el embalse parte la tubería de impulsión de acero, 2.100 mm de diámetro y con una longitud de 72 km hasta la Planta Lucio Baldó; en este recorrido existen 2 estaciones de bombeo E/B Pao I y Pao II; posteriormente la tubería de aducción a Valencia en acero de 1.300 mm y 28 km de longitud y la tubería de aducción a Maracay es de 1.400 mm y 57 km de longitud.
Acueductos de la Región Oriental		Abastece a diversos centros poblados de los estados Sucre y Nueva Esparta, incluyendo sus respectivas capitales.
	<i>Sistema Clavellinos</i>	Embalse Clavellinos – Punto Alto – Chacopata – Tramo sumergido – Isla Margarita Pta. Mosquito, gravedad, longitud 96 km y diámetros de 52”, 42” y 30”. Tramo sumergido Chacopata- Isla de Coche. Longitud 11 km y diámetro 8”.
	<i>Sistema Turimiquire</i>	Embalse Turimiquire – Túnel Guamacán – Pta. Baja Cumaná – 2 Submarinas Pta. Baja – Pta. Salazar Araya – Morro Pupuy – 2 submarinas Margarita en Los Algodones – Estanque Porlamar, gravedad, longitud 90 km y diámetros 72”, 52” y 38”.
Acueducto Maracaibo		Abastece a la capital del Estado Zulia y varios centros poblados ubicados a lo largo de las aducciones, así como al Complejo El Tablazo.
	<i>Sistema Manuelote – Tulé</i>	Toma Tulé y E/B Tulé 1 y 2 – 2 tuberías hasta Estanque Cerro Cochino – 2 tuberías hasta Bifurcación – 2 tuberías hasta Planta C, longitud 55 km y diámetros variables entre 36”, 66”, 72”, 100”, 120”.
	<i>Campo de pozos#4 – Planta C</i>	Campo de pozos#4 – Planta C, 26 km y 42”.
	<i>Bifurcación – El Tablazo</i>	Bifurcación – Costa del lago – 2 Sublacustre – Costa Oriental del lago- Emb. El Tablazo – P.P El Tablazo, longitud 32 km y diámetros variables entre 48” y 36”.
	<i>Embalse El Diluvio – Cerro Cochino</i>	Embalse El Diluvio – Pto. Medio – Cerro Cochino, longitud 69, diámetros 102” y 94”.
	<i>Campo de pozos#1 – Planta B</i>	Campo de pozos#1-Planta B, 16 km 24”.
	<i>Campo de pozos#3 – Planta B</i>	Campo de pozos#3-Planta B, 5,5km 36”. Estaciones de bombeo en 6 líneas de aducción.
Acueducto Regional del Táchira		Abastece a la capital del estado Táchira, San Cristóbal y otros centros poblados de dicho estado.
	<i>Túnel forma herradura</i>	Río Bobo – Queniquea – San Antonio – Qda. La Jabonosa – Qda. La Cachicama – Qda. La Verdosa – Pta. Potabilización Cordero, Longitud de túnel 19, 5 km sección de 3 m de ancho por 3,5 de alto.
Acueducto Alto Tocuyo – Edo. Lara		Abastece a Barquisimeto, Quíbor y El Tocuyo, así como otros centros poblados del estado ubicados a lo largo de la aducción.
	<i>Toma Embalse Dos Cerritos – El Tocuyo – Quíbor – Barquisimeto</i>	Longitud: 28, 9 km, acero, diámetro 60” y 48”.
	<i>Estación de Bombeo Alto Tocuyo</i>	Aproximadamente 50 ventosas y 40 descargas a lo largo de la conducción.

Tomado de: CIUDADANÍA SIN LÍMITES. Monitor Ciudad (2020).

Los problemas que se presentan en estas obras de conducción son comunes para los diferentes acueductos del país, resaltando fundamentalmente los siguientes:

- Deterioro y/u obsolescencia de componentes de la infraestructura, destacando elementos estructurales de soporte, estaciones de bombeo y elementos de control como válvulas y descargas.
- Pérdidas de los sistemas de protección catódica y de la protección con pintura anticorrosiva en los tramos superficiales de tuberías.
- Fugas en las aducciones, acentuadas, como es el caso, en tramos submarinos que surten al estado Nueva Esparta.
- Tomas ilegales para usos distintos al abastecimiento urbano a lo largo de las tuberías de aducción.
- Deficiencia en el suministro eléctrico en los acueductos que requieren bombeo.
- Ningún sistema cuenta con sensores ni dispositivos de telecontrol.

Aun cuando esta infraestructura fue concebida y diseñada con visión de futuro – de allí su robustez – durante las últimas décadas la misma no ha recibido el mantenimiento, ni preventivo ni correctivo, que hubiese asegurado su capacidad para surtir el abastecimiento previsto; por ello la necesidad de actuar para la rehabilitación y recuperación de sus capacidades.

Asimismo, los sistemas deben dotarse de herramientas de control, inclusive telecontrol, sensores y salas de control, que permitan operación remota, detección oportuna de fallas, roturas y extracciones fraudulentas, así como la corrección eficiente de las mismas. También deben prepararse planes de riesgo, frente a amenazas naturales y antrópicas, (riesgos socio naturales) que busquen restituir los servicios en tiempos perentorios cuando se produzcan fallas considerables de suministro.

6. La potabilización del agua

La potabilización de las aguas a ser consumidas por los habitantes del país constituye una fase primordial dentro del proceso completo de gestión del agua que conocemos como el ciclo integral del agua desde su captación hasta la entrega de un agua segura al usuario. El agua potable producida en una planta de potabilización, es agua para consumo humano sin peligro alguno para la salud, por ausencia de organismos patógenos o sustancias tóxicas y cumplir requisitos organolépticos que no induzcan al usuario a la búsqueda de otras fuentes, que, aunque tengan condiciones más aceptables sensorialmente, sean de dudosa calidad microbiológica. Pero no basta con producir agua potable de buena calidad para asegurar la salubridad de la población servida, además debe suministrarse en cantidad suficiente y de manera continua.

Existe una fuerte correlación entre la salud pública y el acceso al agua potable por parte de la población. Desde 1854, se conoce que el agua es un agente transmisor de ciertas enfermedades gastrointestinales, por cuanto ese año el Dr.

John Snow se interesó por las muertes en una epidemia de cólera en Londres y después de llevar a cabo una investigación, que al día de hoy constituye un hito en la epidemiología, llegó a la conclusión de la estrecha relación entre los casos de cólera y el uso de una fuente pública, el pozo Broad Street, que estaba contaminada. Un poco más tarde, en 1910, Sedgwick y MacNutt reconocieron el llamado “fenómeno de Mills-Reincke” basado en observaciones directas de Reincke y Mills (en torno a 1893), funcionarios de las plantas de adecuación de las aguas para consumo de las ciudades de Hamburgo (Alemania) y Lawrence (USA), respectivamente. Las observaciones de estos funcionarios los llevaron a concluir que existía una disminución sustancial de la tasa de muertes por fiebre tifoidea en dichas ciudades cuando en sus plantas se utilizaron técnicas de filtración, una novedad para la época (FINK, 1917, citado por FERRARA-GINER, 2023).

En las primeras décadas del siglo XX se afianzó el conocimiento sobre la relación entre la salud y un agua para consumo de calidad apropiada, lo que impulsó los sistemas de potabilización como solución para la obtención de agua segura para la población. Según la UNEP/WWAP (2014) se estima que por cada dólar estadounidenses (USD) invertido en la provisión de agua potable y saneamiento se recuperan entre 3 y 34 USD, dependiendo de la región y la tecnología.

La provisión a la sociedad de un agua de calidad óptima para su consumo por las poblaciones, ya está tan arraigada en el concierto de las naciones, que desde el 2010 se considera un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida, como lo consagró la Asamblea General de las Naciones Unidas ese año (2022). Además, este derecho humano fundamental está planteado en uno de los 17 objetivos planteados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU, específicamente el ODS 6: Agua limpia y saneamiento, enfocado en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (2015).

Por tanto, la importancia de las plantas potabilizadoras estriba en ser el espacio físico donde las aguas serán tratadas y transformadas en un producto con características físicas, químicas, biológicas y de aspecto, completamente seguro para el consumo humano: agua potable. Este es el fin último de las plantas potabilizadoras. Debemos subrayar la importancia de la valoración de la entrega de agua potable a los usuarios para que puedan alcanzarse las cuotas de salud pública consonas con un Estado moderno, donde las enfermedades de origen hídrico estén prácticamente ausentes.

Según los datos del último boletín epidemiológico publicado por el MINISTERIO DE SALUD (2016) correspondiente a la semana 52 del año 2016 (desde entonces no se ha publicado ningún otro) nos encontramos que en el país hubo un incremento del 26,6% de los casos de diarreas en menores de 5 años entre 2015 y 2016, lapso en el cual se incrementó la discontinuidad en la prestación del servicio de agua potable en el país y esta realidad tiene una incidencia

directa en las condiciones de higiene asociadas a la diarrea infantil. Es de hacer notar que en la actualidad la discontinuidad en el servicio se ha deteriorado mucho más, lo que sin duda incide en un incremento de las enfermedades gastrointestinales asociadas a un agua no potable. Dado la ausencia de estadísticas oficiales, el Observatorio Venezolano de los Servicios Públicos, OVSP (2021) sirve de termómetro de la continuidad en el servicio de agua potable y en febrero del 2021 informa que apenas el 25,0% de los ciudadanos encuestados indicaron que cuentan con el recurso las 24 horas continuas. Por otra parte, los datos publicados por ENCOVI (2024) señalan que solo el 36% de la población recibe agua por tubería con frecuencia diaria. Ambos datos indican la precariedad del servicio de agua potable prestado por el Estado y la alta probabilidad de incidencia sobre enfermedades de origen hídrico por este problema.

Al hablar del agua potable en nuestro país, considerado como privilegiado en términos de recursos hídricos, con una distribución muy variada, tanto en sus componentes de aguas superficiales que cuentan con 2.233 km³, como subterráneas cuya magnitud de reservas totales es de aproximadamente 7.700 millardos de metros cúbicos en una superficie total de 468.000 km², de los cuales el volumen aprovechable es de 23 millardos de metros cúbicos, sin incluir las reservas localizadas a la margen derecho del río Orinoco.

Sin embargo, la distribución de la población a nivel nacional es muy desequilibrada, ya que cerca del 90% de la población se encuentra asentada al norte del país, en el denominado eje andino-costero, área caracterizada por una acentuada escasez del recurso agua, situación que se agrava por el deterioro progresivo de la calidad de los cuerpos de agua, debido básicamente al vertido sin tratamiento de aguas residuales en las principales cuencas, uso de agroquímicos, así como manejo irracional e indiscriminado del recurso, lo cual acarrea problemas de disponibilidad y distribución, así como falta de inversión en infraestructura apropiada.

La clasificación de las aguas naturales superficiales en función de sus usos potenciales aparece en el Decreto N° 883 (1995), aún vigente, y en el cual se definen siete tipos de aguas en función de sus usos potenciales, están detallados en la Tabla 4.

En esta clasificación, las aguas Tipo 1 se definen como “aquellas aguas destinadas al uso doméstico e industrial que requiera de agua potable, siempre que esta forme parte de un producto o subproducto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él”. Conforme a esta norma se deduce que el mínimo tratamiento que debe darse al agua para consumo humano consiste en garantizar su desinfección; lo anterior aplica a aguas prístinas en su estado natural clasificadas en esta figura legislativa como subtipo 1A. Luego establece las aguas subtipo 1B, que pueden ser potabilizadas mediante una secuencia de procesos y operaciones convencionales, en función de límites de parámetros fisicoquímicos y biológicos. Finalmente, establece la clasificación subtipo 1C bajo criterios similares y expresa que

estas aguas requieren de procesos y operaciones no convencionales para su potabilización.

En lo que respecta a la normativa que establece los límites para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el agua destinada al consumo humano son las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable que datan de 1998, las que rigen este uso. Además de este decreto, las normas COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), ahora bajo la supervisión de SENCAMER (Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos), también establecen requisitos relevantes, especialmente la COVENIN 1431 para agua potable envasada, aunque sus principios se aplican también al agua de la red pública. En la actualidad la gestión del agua potable y saneamiento en Venezuela recae principalmente en HIDROVEN (Compañía Anónima Hidrológica Venezolana), una empresa estatal que supervisa a las diferentes hidrológicas regionales.

Proceso convencional de potabilización

El proceso de potabilización convencional, para aguas crudas provenientes de fuentes bien gestionadas y por ende con una calidad adecuada, es bien conocido y está aceptado universalmente. Lo conforman un conjunto de operaciones físicas y procesos químicos (Figura 2) que incluyen: coagulación – floculación, sedimentación, filtración y desinfección, y cuando se requiera ajuste del índice de saturación, y que reducen el color, la turbidez y partículas en suspensión a niveles aceptables y eliminan los microorganismos patógenos a valores normativos.

Estas operaciones y procesos unitarios se llevan a cabo en un conjunto de unidades, donde es menester añadir sustancias químicas al agua, todo lo cual conduce a la obtención del producto que conocemos como agua potable. Previo a la entrada del agua cruda a estas unidades, se suele hacer un pretratamiento que incluye el uso de rejas y rejillas para eliminar sólidos gruesos, y la pre-cloración. A la salida del agua potable de la planta, de acuerdo a la normativa nacional, ésta tendrá un residual de cloro entre 0,3 y 0,5 mg/L que debe mantenerse en cualquier punto del sistema de distribución y dada la disminución del residual de cloro por el ejercicio de la demanda a lo largo de la red o posible contaminación, deben existir puntos de reclusión que mantengan el residual de cloro con el valor aceptado.

Tabla 4. Clasificación de las aguas naturales superficiales en función de sus usos potenciales. Decreto 883, Capítulo 2.

Tipo 1 Aguas destinadas a uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o subproducto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.	Tipo 1A Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
	Tipo 1B Aguas pueden ser acondicionadas por medio de tratamiento convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
	Tipo 1C Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.
Tipo 2 Aguas destinadas a usos agropecuarios.	Tipo 2A Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
	Tipo 2B Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario
Tipo 3 Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.	Aguas marinas o medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.
Tipo 4 Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.	Tipo 4A Aguas para el contacto humano total.
	Tipo 4B Aguas para el contacto humano parcial.
Tipo 5 Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.	Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.
Tipo 6 Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.
Tipo 7	Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

Tomado de: Decreto N° 883 (1995).

La secuencia descrita implica un proceso completo de clarificación, centrado en remoción de turbidez como principal parámetro de referencia y control, aunado a la ausencia de organismos patógenos promovida por la desinfección.

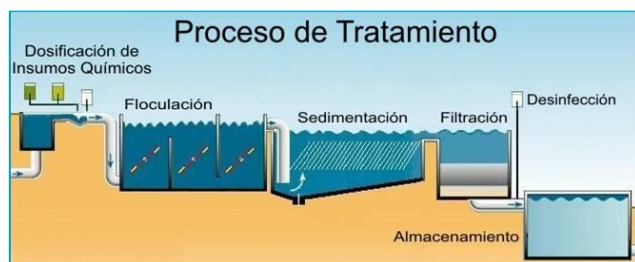


Figura 2. Diagrama de una planta de potabilización convencional.
Fuente: LOZANO Y SÁNCHEZ, 2017.

A continuación, una breve descripción de la secuencia de operaciones y procesos unitarios que conforman el tren de tratamiento:

- Pre-cloración:** En algunos casos se aplica cloro antes de comenzar el proceso de potabilización (pre-cloración) para generar una barrera sanitaria o un residual de desinfectante mínimo necesario aguas abajo. En caso de hacerse pre-cloración hay que verificar la naturaleza de la materia orgánica del agua para descartar la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos que al ser oxidados con cloro generan THM (Trihalometanos).
- Mezcla rápida:** como su nombre lo indica se lleva a cabo en pocos minutos y tiene como objetivo mezclar el agua cruda que entra a la planta con los químicos requeridos aguas abajo, como son cal apagada (Ca(OH)_2) para control del pH en los procesos y coagulantes como el alumbre, una sal de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$) y que es la que mayoritariamente se usa en nuestro país. En otros países se usa una sal de hierro (FeCl_3). La dosificación de los coagulantes debe obedecer a los resultados de las pruebas de jarras y a sus registros históricos en la planta. La coagulación química, que se

realiza en minutos, se basa en romper el equilibrio eléctrico de las partículas coloidales que provocan la turbidez y permite que en la siguiente operación comiencen a colisionar generando el efecto de aglutinamiento de las mismas.

- Mezcla lenta o floculación: el aglutinamiento de sólidos suspendidos y coloidales (partículas entre 1 mm y 10^{-6} mm) es el objetivo de la mezcla lenta. Un tanque de floculación, sea hidráulico o mecánico, consta de unas tres cámaras o secciones, con diferentes niveles de turbulencia. En una cámara inicial la turbulencia debe ser mayor para favorecer la floculación por cinética o sea la colisión de las partículas coloidales debida al movimiento browniano. Así, las partículas coloidales, ya sin carga eléctrica, al colisionar se aglomeran conformando pequeños flóculos. En una segunda cámara con menor turbulencia, los pequeños flóculos y las partículas de tamaños similares colisionan generando un efecto global de aumento de tamaño por colisiones sucesivas, dando como resultado flóculos de tamaño mediano. En la tercera cámara se disminuye aún más la turbulencia para favorecer la colisión y el aglutinamiento de los flóculos que ya han alcanzado tamaños medianos y de esta manera conformar flóculos más grandes. En la segunda y tercera cámaras se propicia la floculación por cinética en la cual la colisión depende de la turbulencia del agua. Se ha demostrado en la buena práctica que operando de esta manera los floculadores se logran flóculos compactos, pesados y de buen tamaño, condiciones que facilitan en gran medida su remoción por sedimentación, aguas abajo (SCHIPPERS (1990), VAN BREEMEN (1994) e IVES (1978)).
- Sedimentación: los flóculos de buen tamaño, compactos y pesados provenientes de la mezcla lenta son removidos por gravedad en estas unidades. Los lodos de estos sedimentadores y las aguas de lavado de los mismos, contienen por lo general hierro y aluminio provenientes de las sales de hierro y aluminio hidrolizadas responsables de la coagulación y añadidas en la mezcla rápida. Se debe procurar la recuperación y el reciclaje de estos metales en el manejo de los lodos y las aguas de limpieza de los sedimentadores. Es necesario señalar que en los procesos de floculación se aglutinan y conforman los flóculos con partículas inertes y microorganismos, entre ellos patógenos, que son removidos en la sedimentación.
- Filtración rápida en arena: los pequeños flóculos que pasaron los sedimentadores son removidos en estas unidades en sus primeros centímetros, conformando una capa porosa que es capaz de retener quistes de *giardias* y otros patógenos. Es común en Venezuela que los lechos de los filtros rápidos estén conformados por antracita, arena y gravas, fina, media y gruesa de transición hacia el fondo. El efluente de unidades de filtración rápida, que reciben aguas de procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación debidamente operados y mantenidos, debe tener una turbidez menor a 1 UNT, valor ideal para los siguientes procesos aguas abajo (tales como: desinfección, post-cloración y ajuste del índice de saturación). Parte de la producción de agua filtrada debe ser almacenada y destinada para limpiar las unidades de filtración mediante retrolavado. Las aguas del retrolavado de los filtros rápidos deben ser manejadas contemplando prácticas de recuperación de los metales de las sales hidrolizadas de hierro (Fe) y aluminio (Al) usadas como agentes coagulantes. Es muy importante ejecutar correctamente el retrolavado de los filtros rápidos; todas las piezas, tuberías y accesorios del sistema del retrolavado deben estar en óptimas condiciones operativas, a fin de lograr fluidizar y expandir el lecho filtrante de manera adecuada, evitando así disgregar el lecho y la pérdida de antracita en el retrolavado.
- Desinfección: Se refiere a la inactivación de microorganismos patógenos, que causan enfermedades infecciosas al hombre. Garantizar la desinfección en el proceso de potabilización es una meta de oro a cumplir. La tecnología más común en Venezuela es la cloración, usando gas cloro (Cl_2)_(g) o sales del ácido hipocloroso (HClO), bien sea hipoclorito de sodio (NaOCl) o hipoclorito de calcio (Ca(OCl)_2). El gas cloro se genera de la evaporación de cloro líquido encerrado en cilindros a alta presión y se aplica directamente a través de difusores (alimentación a presión o por alimentación al vacío), para lo cual un caudal menor de agua se satura con cloro y posteriormente se mezcla con el caudal principal. La opción de gas cloro generalmente se usa en plantas potabilizadoras grandes, donde pueda implementarse un sistema de seguridad ocupacional en torno al uso de los cloradores, ya que este gas es tóxico y debe manejarse con precaución. El uso de los hipocloritos generalmente se aplica en abastecimientos pequeños donde el número de operadores es mínimo y no existe una unidad especializada en seguridad ocupacional. En el contexto de la realidad operativa de nuestros sistemas de distribución y almacenamiento no se ejerce un control sanitario estricto y ante esta realidad particular, el cloro tiene la ventaja singular que lo distingue de otros agentes desinfectantes, ya que después de realizar la desinfección queda un residual de cloro capaz de garantizar la eliminación de patógenos cuando el agua potabilizada circula en el sistema de distribución y almacenamiento.
- Ajuste del índice de saturación: El ajuste del índice de saturación (también llamado índice de Langelier) permite evitar la corrosión y lograr bajos niveles de incrustación en el sistema de distribución y almacenamiento. Esta condición garantiza la estabilidad química del agua en la red de distribución.
- Post-cloración en la red: En las redes de distribución del agua potable debe mantenerse un residual de cloro, normado entre 0,3 y 0,5 mg/L. A medida que el agua

potable circula por el acueducto este residual disminuye por la actividad química del cloro que es un oxidante fuerte y se gasta en reacciones secundarias. Esto significa que deben establecerse puntos de post-cloración para mantener la concentración del cloro residual dentro de la norma.

Los procesos no convencionales para potabilizar el agua

El Decreto N° 883 (1995) al clasificar las aguas superficiales naturales en función de sus potenciales usos y referirse al subtipo 1C las define como aquellas aguas que para ser potabilizadas requieren de un proceso no convencional. Lo anterior significa que en este caso se requiere una secuencia de procesos y operaciones que puede contemplar el tren convencional o parte de él, fortalecido con otras unidades que permitan la remoción de contaminantes que los trenes convencionales no son capaces de remover.

Es el caso cuando se detecta que el agua cruda que se va potabilizar tiene contaminantes no contemplados originalmente como son formas solubles de agentes activos de agroquímicos (herbicidas, fungicidas, fertilizantes e insecticidas). Más reciente, se han detectado contaminantes llamados emergentes que provienen de las aguas servidas. Se trata de residuos de medicamentos, de productos de higiene, disruptores endocrinos u hormonales, entre otros. La planta convencional en su secuencia de procesos y operaciones no tiene capacidad para remover estos contaminantes y en este caso, se hace necesario incluir en la secuencia a reactores y procesos basados en carbón activado o procesos de oxidación avanzada.

Antecedentes históricos de la potabilización en Venezuela

Datos obtenidos del portal web de la empresa HIDROCAPITAL (2025) informan que ya en años tan lejanos como 1573 el río Catuche era la principal fuente de abastecimiento del primer acueducto de Caracas. En la esquina de Caja de Agua se recogía el agua en un estanque, y de allí se repartía a la población por las acequias, partiendo de Caja de Agua y Luneta hasta las esquinas de Reducto y Miracielos. No hay evidencias que se hiciera algún tipo de tratamiento.

La primera planta de potabilización en el país se construyó en 1936 para las poblaciones de Turmero y Cagua, con un caudal promedio de 32 L/s y un caudal máximo de 64 L/s. Estaba constituida por tres unidades de filtración rápida a través de un lecho de arena granular, una cámara de cloración y un medidor (RIVAS MIJARES, 1997). Después de esa primera planta, en 1948 se construyó la planta de Mamo con pre-sedimentación, seguida de coaguladores, sedimentadores y filtros, para abastecer a Maiquetía y La Guaira. A partir de 1950, cuando ya se contaba con recursos humanos preparados se inició la construcción de plantas de

potabilización en un número apreciable de ciudades y poblaciones del país.

El Sector Agua Potable y Saneamiento operó con base en diferentes estructuras de orden municipal o pequeñas empresas privadas, que daban el servicio a sectores con sistemas locales hasta el año 1943, fecha donde comienza la evolución acelerada de estos servicios con la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) y el traslado de la administración integral de los mismos (BAUSSON, 2018). El INOS tenía a su cargo la construcción y operación de la infraestructura hidrosanitaria de las zonas urbanas hasta que fue eliminado en 1990.

Datos más recientes de los sistemas de potabilización existentes

Antes de 1990, cuando existía el Instituto Nacional de Obras Sanitarias, este ente se encargaba del agua potable y saneamiento de las poblaciones mayores de 5.000 habitantes, en tanto que el antiguo Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, a través de la Dirección de Malaria y Saneamiento Ambiental-Acueductos Rurales, se encargaba de las menores a 5.000 habitantes. Durante la década del 70 se desarrolló en Venezuela un programa ambicioso para dar cobertura del servicio a las poblaciones rurales precisamente por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (ECHENIQUE, *et al.*, 2025). Según UZCÁTEGUI (2023) más del 90% de la infraestructura de agua potable que presta servicio en el país en la actualidad fue proyectada, construida y puesta en servicio por el INOS, hasta su eliminación.

Hoy en día existen 10 empresas hidrológicas regionales, filiales de HIDROVEN, que atienden en torno al 80% de la población, y 6 descentralizadas que son supervisadas por HIDROVEN, además de algunas empresas estatales y municipales de agua descentralizadas: HIDROCAPITAL (Distrito Capital, Miranda, La Guaira), HIDROLAGO (Zulia), HIDROCARIBE (Anzoátegui, Nueva Esparta, Sucre), HIDROCENTRO (Aragua, Carabobo), HIDROLLANOS (Apure, Guárico, excepto municipios específicos), HIDROPÁEZ (Guárico y municipios específicos, así como parte de Apure), HIDROANDES: (Barinas, Mérida (ciertas áreas, Mérida tiene Aguas de Mérida), Trujillo), HIDROLARA (Lara), HIDROFALCÓN (Falcón), HIDROSUROESTE (Táchira), CVG-GOSH (Amazonas y Delta Amacuro (depende de la Corporación Venezolana de Guayana)), así como, empresas descentralizadas a escala estatal (Aguas de Mérida, Aguas de Portuguesa, Aguas de Yaracuy, Aguas de Monagas, Aguas de Cojedes) y empresas municipales (Aguas de Ejido, Aguas de Anaco, Aguas de Capitanejo, Aguas de Zamora, Instituto Municipal Aguas de Sucre (IMAS), entre otras). (MARTÍNEZ, 2012; MARTÍNEZ, 2013; BAUSSON, 2018; GO, 2018; citados por FERRARA-GINER, 2023).

NAJUL Y BLANCO en 2014, detallan que existen 144 plantas de potabilización en el país y a todas se les realiza “tratamiento completo”, coagulación-floculación,

sedimentación, filtración y desinfección. Solo el 25% de ellas tiene configuración convencional, no obstante, estas procesan el 65% del total de aguas que reciben tratamiento, un porcentaje que puede considerarse sustancial. El resto de las plantas son modulares, compactas o no convencionales, en las cuales todos o parte de los procesos mencionados se realizan en unidades cilíndricas y concéntricas, a diferencia de las primeras donde tales procesos se realizan en unidades de sección rectangular, consecutivas e independientes.

La mayoría de las plantas de gran capacidad son de tratamiento convencional, que incluyen procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (generalmente con cloro). Algunas plantas más pequeñas o para casos específicos pueden usar filtración lenta, ósmosis inversa (especialmente en zonas costeras/insulares), o tratamientos más especializados.

A continuación, en la Tabla 5, se presentan las características de las principales plantas potabilizadoras de Venezuela, realizado con base en la información recopilada por la Dra. Yabroudi, Directora del Centro de Investigación del Agua de la Universidad del Zulia (LUZ).

Tabla 5. Principales Plantas Potabilizadoras por Región/Hidrológica.

Región / Empresa Hidrológica	Identificación de la planta	Características
Distrito Capital y Estado Miranda (HIDROCAPITAL)	<i>Sistema Tuy (I, II, III)</i>	Es el sistema más grande y complejo del país, abasteciendo a la Gran Caracas y parte de Miranda.
	<i>Planta Potabilizadora La Mariposa (Tuy I)</i>	Ubicada en San Antonio de Los Altos, Miranda. Capacidad estimada de 4.400 L/s.
	<i>Planta Potabilizadora La Guairita (Tuy II)</i>	Ubicada en El Hatillo, Caracas. Abastece el este de Caracas.
	<i>Planta Potabilizadora Canjarito (Tuy III)</i>	Ubicada cerca de Charallave, Estado Miranda, con capacidad de tratamiento entre 4.000 - 4.500 L/s. Una de las más grandes.
	<i>Planta Potabilizadora Taguaza</i>	Ubicada en Miranda. Es parte del proyecto Tuy IV, aunque no se encuentra totalmente completado.
	<i>Planta Potabilizadora de Los Teques</i>	Atiende a Los Teques y Altos Mirandinos, recibe aportes del Acueducto Macarao
Estado Zulia (HIDROLAGO)	<i>Planta Potabilizadora Comunal en Santa Teresa del Tuy</i>	Ubicada en el Municipio Independencia, Valles del Tuy, Estado Miranda, posee capacidad de tratamiento de 5.400 L/s.
	<i>Planta Potabilizadora "Alonso de Ojeda" (Planta C)</i>	Abastece a los Municipios Maracaibo, San Francisco y parte de Mara, es la de mayor capacidad de la región. Se alimenta de los embalses Tulé, Manuelote y Tres Ríos, con capacidad de diseño de 6.500 L/s.
	<i>Planta Potabilizadora "Wüinpala": Municipio Mara.</i>	Se alimenta del embalse Tres Ríos y capacidad de diseño de 3.600 L/s.
	<i>Planta Potabilizadora "B": Municipio San Francisco.</i>	Se alimenta de pozos subterráneos y capacidad de 1.200 L/s.
	<i>Planta Potabilizadora "Pueblo Viejo"</i>	Abastece a los municipios Simón Bolívar, Lagunillas, Cabimas y Santa Rita en la Costa Oriental del Lago, cuya capacidad puede verse afectada por los niveles de turbidez en el embalse Burro Negro, su fuente de abastecimiento.
	<i>Planta Potabilizadora "Machiques"</i>	En el Municipio Machiques de Perijá, posee capacidad instalada 350 L/s, beneficiando a aproximadamente 60.000 habitantes.
Estado Mérida	<i>Planta Potabilizadora "Wüinpala"</i>	(también referida como Wimpys)
	<i>Planta Potabilizadora "Dr. Enrique Bourgoïn"</i>	Ubicado en El Vallecito, Municipio Libertador y capacidad de 900 L/s, atiende aproximadamente 220.960 habitantes. Esta planta es crucial, ya que surte el 80% del acueducto de la

		ciudad de Mérida.
	<i>Planta Potabilizadora "Dr. Eduardo Jáuregui"</i>	Localizada en La Hoyada de Milla, Municipio Libertador, capacidad de 300 L/s, sirve a 44.000 habitantes, surtiendo el 20% del acueducto de la ciudad de Mérida.
	<i>Planta Potabilizadora "Eleazar López Contreras"</i>	Abastece la ciudad de Ejido, capital del municipio Campo Elías. Consta de 4 unidades compactas de sección circular (5 anillos concéntricos, donde se llevan a cabo la mezcla rápida, mezcla lenta, sedimentación y filtración rápida). Capacidad 200 l/s (4 módulos circulares de 50 l/s cada uno.)
	<i>Planta Potabilizadora "Luis Mora"</i>	En el Municipio Caracciolo Parra y Olmedo (Tucaní), con capacidad de 40 L/s, atiende 16.589 habitantes.
	<i>Planta Potabilizadora "Bernardo Luzardo"</i>	Localizada en La Azulita, Municipio Andrés Bello, 20 L/s, sirve a 5.385 habitantes.
	<i>Planta Potabilizadora de Mucujepé:</i>	Municipio Alberto Adriani (El Vigía), se encuentra en proceso de rehabilitación para incrementar su producción. Los trabajos buscan mejorar el sistema de retrolavado de los filtros para aumentar el caudal, beneficiará a más de 111.000 habitantes del municipio Alberto Adriani.
Estado Anzoátegui	<i>Planta Potabilizadora "El Rincón"</i>	En Puerto La Cruz, Municipio Sotillo, con capacidad instalada para potabilizar 4.000 L/s, con posibilidad de expandirse a 6.000 L/s. En febrero de 2022, se reportó una producción de 3.400 lps beneficiando a 4 municipios. Beneficia a zonas del norte de Anzoátegui, como Sotillo, Guanta, y parte de Urbaneja y Bolívar.
Estado Lara (HIDROLARA)	<i>Planta de Tratamiento "Dos Cerritos"</i>	Ubicada en la represa Dos Cerritos, es fundamental para el abastecimiento de Barquisimeto y otras zonas de Lara y Planta de Tratamiento "Atarigua".
Estado Falcón (HIDROFALCÓN)	<i>Planta del Acueducto Bolivariano</i>	Asociada al embalse Barrancas, es la principal para el servicio en Coro y Punto Fijo. Ha enfrentado problemas de sedimentación en el embalse y de la infraestructura y Plantas de Tratamiento en la Península de Paraguaná.
El estado La Guaira, con su geografía costera y montañosa, presenta desafíos únicos en el suministro de agua. Recibe agua del Sistema Metropolitano (Tuy I, II y III) y complementa el suministro con fuentes locales y desalinización.		
	<i>Suministro del Sistema Metropolitano (Tuy)</i>	Las ciudades costeras al norte de Caracas, incluyendo el eje Naiguatá y Catia La Mar, reciben agua del Sistema Metropolitano. Esto significa que el agua tratada en plantas como Caujarito llega a La Guaira a través de aducciones.
Estado La Guaira	<i>Tomas Superficiales Locales</i>	Existen tomas superficiales en ríos como Naiguatá, San Julián, Macuto, Chichiriviche, Limón y Maya. El agua de estas tomas requiere tratamiento. Aunque no se especifica una "planta potabilizadora" centralizada para cada una, es probable que existan estaciones de tratamiento locales, ya sean pequeñas plantas o sistemas de desinfección en cada punto de captación.
	<i>Plantas Desalinizadoras</i>	Ante la escasez de agua potable y la cercanía al mar, la desalinización es una solución estratégica en La Guaira, siendo inaugurada en 2017 la Planta Desalinizadora Portátil en Punta Care, parroquia Naiguatá, fue la primera de un plan de nueve plantas desalinizadoras para el estado. Otra planta desalinizadora mencionada por MinAgua es la Planta Desalinizadora Mare.

Estado Trujillo	La situación del servicio de agua potable ha enfrentado desafíos, buscando soluciones a través de diversas intervenciones. La Hidrológica de la Cordillera Andina (Hidroandes) es la encargada de la gestión del agua en este estado, así como en el estado Barinas.	
	<i>Planta de Tratamiento de El Cumbe</i>	No se especifica una capacidad global, pero las mejoras se enfocan en la optimización de las bombas y el sistema, atiende usuarios de Valera y Carvajal.
	Es atendido principalmente por la Hidrológica del Suroeste (Hidrosuroeste). La región cuenta con una planta potabilizadora de relevancia que es clave para su abastecimiento.	
Estado Táchira	<i>Planta Potabilizadora de Cordero</i>	Municipio Cárdenas, cerca de San Rafael de Cordero, con capacidad instalada de 1.000 L/s, suministra el 70% del agua en el estado Táchira. A finales de 2021, el Ministerio del Poder Popular para la Atención de las Aguas anunció la recuperación de nueve plantas potabilizadoras en Táchira, aunque los avances conocidos se centran en una de ellas.
Estado Carabobo	Atendido por la Hidrológica del Centro (Hidrocentro), que también cubre los estados Aragua y Cojedes. Hidrocentro, como organismo, cuenta con una capacidad instalada para producir 19.280 litros por segundo a través de 16 plantas potabilizadoras, 494 fuentes subterráneas y 15 fuentes superficiales en toda la región central. Sin embargo, la producción actual suele ser menor a la capacidad instalada.	
	<i>Planta Potabilizadora "Dr. Alejo Zuloaga"</i>	Abastece a gran parte del estado Carabobo, incluyendo Valencia y sus municipios aledaños, con capacidad de 7.000 a 8.000 L/s.
	Es atendido por la Hidrológica de la Cordillera Andina (Hidroandes).	
Estado Barinas	<i>Planta Potabilizadora "Ciudad de Barinas" (La Glorieta)</i>	Localizada en Barinas, cuenta con capacidad instalada de 450 L/s, con un proyecto para llevarla a 700 L/s. Abastece a la ciudad de Barinas y sus alrededores. La situación del agua potable en Barinas a menudo implica la necesidad de rehabilitaciones y optimización de las plantas existentes para alcanzar su capacidad máxima.
	Junto con los Estados Anzoátegui y Nueva Esparta, es atendido por la Hidrológica del Caribe (Hidrocaribe).	
Estado Sucre	<i>Planta Potabilizadora "Turimiquire" (Sistema Turimiquire)</i>	Aunque el embalse Turimiquire se encuentra entre los estados Sucre y Monagas, el sistema de potabilización asociado beneficia directamente a Sucre, Anzoátegui y Nueva Esparta.
	<i>Planta Potabilizadora "Cordón de Cariaco"</i>	En Cariaco, Municipio Ribero, contribuye al abastecimiento de la población de Cariaco y sus alrededores.
Estado Nueva Esparta	<i>Planta Potabilizadora "Luisa Cáceres de Arismendi"</i> <i>(Planta de Bombeo y Acueducto Submarino)</i>	No es una planta potabilizadora en el sentido convencional, sino más bien una estación de bombeo y un sistema de aducción. El agua es potabilizada en el continente (principalmente desde el sistema Turimiquire) y luego bombeada a través de los acueductos submarinos hacia la isla.

Se estima que a nivel nacional la capacidad instalada para suministro de agua potable alcanza unos 112.300 L/s en acueductos urbanos, con un 40% no operativo y 10.000 L/s adicionales en acueductos rurales (BAUSSON, 2018, citado por ESPINOSA, *et al.*, 2023). La cobertura de acceso a redes de agua potable en las zonas urbanas alcanza a 93%, en tanto que en las zonas rurales es sensiblemente más bajo porque solo 52% de la población tiene acceso a una red de agua potable (GRUPO ORINOCO, 2018).

Si bien los valores de cobertura de acceso pueden considerarse aceptables en el entorno latinoamericano, no así la información sistematizada y confiable sobre indicadores clave de calidad de los servicios como el cumplimiento de la normativa sobre la calidad del agua suministrada y sobre la continuidad del servicio durante 24 horas diarias, los siete días de la semana (GRUPO ORINOCO, 2018).

Para el año 2017, citado por GRUPO ORINOCO (2018) y por información obtenida del propio HIDROVEN, de las 144 plantas potabilizadoras existentes solo una planta (Amana en el estado Anzoátegui) estaba operando debidamente. Esta realidad nos enfrenta a que la población no está protegida debidamente frente a los embates de las enfermedades de origen hídrico. Dado que los boletines epidemiológicos no se publican, desde 2016, por quién corresponde: el ministerio encargado de la salud, no se tienen cifras actualizadas sobre el alcance de estas enfermedades. Es importante señalar que, en la actualidad, dadas las restricciones del servicio de agua potable a nivel nacional, la población ha buscado soluciones propias, fundamentalmente a través de perforación de pozos, sin el adecuado control administrativo (ECHENIQUE, *et al.*, 2025).

La perforación de fuentes subterráneas, particularmente pozos profundos, se ha convertido en una solución cada vez más recurrente y visible en Venezuela ante el deterioro y la irregularidad del servicio de agua potable por parte de las hidrológicas estatales. Esta situación se agudizó debido a la ineficiencia en la gestión del agua, el deterioro y la contaminación de las cuencas, y la falta de mantenimiento de los sistemas de bombeo y plantas de tratamiento, lo que ha llevado a un aumento significativo de perforación de fuentes subterráneas por parte de entes privados y comunitarios (edificios residenciales, urbanizaciones e incluso comunidades en diversas ciudades), especialmente en Caracas y estados del interior del país (Zulia, Anzoátegui, Amazonas, Monagas, Portuguesa y Miranda), esta situación de perforación indiscriminada y sin una planificación adecuada, puede tener consecuencias negativas a largo plazo en los acuíferos, tales como sobreexplotación, con disminución de los niveles freáticos y agotamiento de los acuíferos e intrusión salina en zonas costeras; interferencia entre pozos, disminuyendo su capacidad productiva; entre otros aspectos (ECHENIQUE, *et al.*, 2025).

En lo que respecta al Marco legal y regulación, la Ley de Aguas de Venezuela establece que todas las aguas del territorio nacional, incluyendo las subterráneas, son bienes del

dominio público de la Nación y no pueden ser de dominio privado. Si bien se pueden otorgar concesiones, autorizaciones y licencias para el uso de las aguas, en la práctica, la "fiebre" de perforación de fuentes subterráneas, ha ocurrido en muchos casos de manera anárquica, lo que podría generar inconvenientes mayores para el futuro. El Decreto N° 2.048 (1997) establece normas para la ubicación, construcción, protección, operación y mantenimiento de pozos perforados para abastecimiento de agua potable, y exige la aprobación previa de la autoridad sanitaria. En lo que respecta a las acciones del Ministerio del Poder Popular para la Atención de las Aguas (MinAguas) y las hidrológicas regionales, han venido implementando planes para la rehabilitación y construcción de pozos profundos, tanto para comunidades como para complementar el suministro de los acueductos principales.

En marzo de 2025, MinAguas (PRENSA MINAGUAS / AGUAS DE YARACUY, 2025) reportó la inauguración de nuevos pozos profundos en diversos estados (como El Vigía estado Mérida y Yaracuy), lo que indica una estrategia de inversión en este sector, sin embargo, estos esfuerzos aún son insuficientes para cubrir la demanda y compensar el deterioro de la infraestructura superficial. La falta de inversión sostenida en el mantenimiento y ampliación de los grandes sistemas de acueductos ha trasladado la carga de la solución a la población y al sector privado.

En resumen, la perforación de fuentes subterráneas en Venezuela es una respuesta sintomática a una crisis hídrica profunda. Si bien ha proporcionado alivio a muchas comunidades y hogares, su crecimiento desordenado y la falta de una gestión integral y sostenible de los acuíferos plantean serias preocupaciones a largo plazo en términos ambientales, de calidad del agua y de equidad en el acceso al recurso.

La solución de fondo sigue siendo la recuperación y modernización de la infraestructura hídrica nacional por parte del Estado.

7. Las redes de agua potable: El reto de la gestión de infraestructura

La gestión de la infraestructura de distribución y almacenamiento y los retos a enfrentar abarca distintos aspectos fundamentales, entre los cuales es oportuno mencionar (ESPINOSA *et al.*, 2023):

Conocimiento y actualización del patrimonio

Es esencial actualizar los inventarios de activos fijos, con especial énfasis en los catastros de redes de distribución y almacenamiento de los sistemas involucrados. Esta medida permite gestionar y medir adecuadamente las variables de línea base, garantizando una administración eficiente de los recursos.

Implementación de catastros y su integración en sistemas de información espacial

Incorporar catastros en plataformas de información geoespacial no solo optimiza la planificación operativa y la rehabilitación de las redes y los almacenamientos, sino que representa un avance estratégico para el sector. La adopción de Sistemas de Información Geográfica (SIG) será clave en los próximos años para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas en el país. Por otro lado, y no menos importante los catastros espaciales aplican al área de gestión comercial de usuarios.

Actualmente, el agua no facturada representa entre el 40% (pérdidas físicas) y 50% ANC (agua no contabilizada) a nivel nacional, incluyendo pérdidas físicas, comerciales y financieras. Para mejorar la eficiencia hidráulica y energética, es imprescindible reforzar las acciones en todas las unidades operativas de la empresa. Esto contribuirá a la resiliencia ante eventos de sequía prolongada y permitirá optimizar el consumo energético, reduciendo la huella de gases de efecto invernadero (GEI), fortaleciendo la mitigación y la adaptación al cambio climático.

Además de garantizar una gestión hidráulica eficaz, estas acciones anteriores impulsan una mejor gobernanza del servicio de agua potable y saneamiento (APyS). En este proceso, los usuarios desempeñan un papel clave en la detección de conexiones ilegales y el reporte de fugas, mejorando significativamente la eficiencia del sistema.

Empoderamiento de los usuarios en la gestión del servicio

Los usuarios deben asumir un rol proactivo en la supervisión de la calidad y cantidad del agua suministrada. Su participación puede contribuir a la reducción del fraude dentro de los sistemas y facilitar la identificación de fallas y fugas. Para ello, se busca que, a través de mesas de agua y organizaciones no gubernamentales, se conviertan en auténticos "prosumidores de información", colaborando activamente en la gestión del recurso.

Otro aspecto crucial es la micro medición, que tiene un impacto directo en la reducción de pérdidas. Esta práctica debe ser una prioridad en la estrategia de la empresa.

Gestión de volúmenes de almacenamiento

Históricamente, la falta de continuidad en el servicio ha llevado a los usuarios a gestionar su propio almacenamiento de agua. Sin embargo, esta práctica debe ser regulada por las siguientes razones:

- **Calidad del agua:** Sin una limpieza sistemática, el almacenamiento doméstico puede comprometer la potabilidad del agua. Si los tiempos de residencia del agua en estos almacenamientos son altos se puede consumir el cloro residual perdiendo así su poder de desinfección.

- **Presión inadecuada:** Un almacenamiento excesivo en los hogares puede generar presiones bajas e insuficientes para un servicio óptimo en la red de aprovisionamiento.
- El almacenamiento de agua en los hogares, en depósitos improvisados, incide en la proliferación de vectores de enfermedades metaxénicas como la malaria y el dengue (FERRARA-GINER, 2023).

La transición hacia un modelo de gestión más eficiente y sostenible requiere esfuerzos conjuntos entre la empresa y los usuarios, garantizando un servicio confiable y de alta calidad.

8. Sistemas de recolección de aguas servidas

Uno de los grandes problemas que presentan los escasos sistemas de tratamiento en el país son altos niveles de dilución de cargas y la entrada de caudales incontrolados a las plantas de tratamiento.

Rehabilitación de redes de recolección de aguas servidas

Con base en lo anterior se debe hacer mayor énfasis en una mejor caracterización de los efluentes basadas en muestreos compuestos integrados de 24 horas, su afectación por el sistema de recolección y de sus variaciones espaciotemporales para que las soluciones planteadas sean verdaderamente efectivas. Esto ayudará a mitigar numerosos problemas ambientales que ahora afectan grandes sistemas y fuentes de recursos hídricos en las ciudades, que ya tienen agotadas sus fuentes prístinas.

Los Sistema Urbanos de drenaje sostenible (SUDS)

Los SUDS constituyen técnicas de reducción de flujos incontrolados en zonas urbanas que favorecen la infiltración de flujos ayudando a que los espacios urbanos sean más permeables. Los SUDS buscan que la respuesta hidrológica de una zona urbanizada sea muy parecida a la que se daba antes de la urbanización y que haga posible minimizar sus impactos en cuanto a calidad y cantidad de la escorrentía. Son elementos de la red de drenaje que permitirán recoger, transportar, descontaminar, retener, infiltrar y evacuar el agua de lluvia de manera sostenible (TRAPOTE Y FERNÁNDEZ, 2016 citados por FERRARA-GINER, 2018)

Estas técnicas de drenaje implementadas hacen más de 40-50 años en el mundo desarrollado, se están aplicando en forma incipiente en América Latina y el Caribe (ALC) y ya comienzan a desarrollarse en centros urbano de países como México, Argentina, Chile y Colombia, propuestas por MORA *et al.* (2020), como medidas factibles de adaptación al Cambio y la Variabilidad Climática.

El agua gestionada por los SUDS puede aprovecharse para diversos usos como recarga de acuíferos, beneficios a la vida silvestre al fomentar la biodiversidad, riego y recreación, entre otros. En muchas de las ciudades del país predominan

sistemas de recolección de agua servidas mixtas o unitarios. Su aplicación debe adaptarse progresivamente al desarrollo de cultura endógenas de operación y mantenimiento ya que este aspecto puede convertirse en un fuerte condicionante para su implementación; la aplicabilidad de estas técnicas ha sido investigada por el CIDIAT-ULA, y su adaptación al casco central de la ciudad de Mérida Venezuela, se puede observar en ROJO Y MORA (2023).

9. El manejo de las aguas residuales municipales, una necesidad ineludible

Dentro del ciclo integral del agua, el manejo de las aguas residuales municipales incluyendo su depuración y disposición, es uno de los temas críticos al que hay que darle la atención que se merece en pro de lograr que los cursos de agua naturales estén libres de contaminación. Si esta fase no se cumple nos enfrentamos a una situación degradante del recurso hídrico, representando riesgos para la salud humana y el funcionamiento de los ecosistemas. Los vertimientos no controlados pueden tener como resultado la contaminación de los recursos de agua potable, la sobrecarga de las masas de agua con materia orgánica y nutrientes (lo que causa eutrofización) y la acumulación de metales pesados u otros contaminantes (ONU-HÁBITAT y OMS, 2021).

Aunque la construcción de drenajes y la recolección de aguas pluviales se ha realizado desde épocas antiguas, como lo sustentan datos históricos, no ha sido así para el caso de la recolección y tratamiento de las aguas servidas, que solo se tienen datos de épocas más recientes del siglo XIX y comienzos del XX. El crecimiento de las ciudades, acelerado a partir de la revolución industrial exigió métodos más efectivos para el manejo de estos líquidos y llevó a adoptar métodos de tratamiento más intensivos (METCALF Y EDDY, 2003). Se espera que la producción mundial de aguas residuales municipales aumente en un 24% para 2030 y en un 51% para 2050 respecto de los niveles actuales (QADIR, *et al.* 2020).

El Informe de *Progreso en el tratamiento de las aguas residuales estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS*, preparado por Naciones Unidas, se centra en el análisis del progreso de dicho indicador, arrojando estimaciones de la proporción de aguas residuales de los hogares tratadas de manera adecuada para un total de 128 países y territorios (el 54,7%), lo que supone un 87,4% del volumen mundial estimado de aguas residuales generadas y el 80,1% de la población mundial. Lamentablemente, en Venezuela no se contaba con datos suficientes que permitieran alimentar dicho Informe.

Las Aguas Residuales Municipales, ¿un producto inevitable de las actividades humanas?

Una vez que el agua es utilizada para cualquiera de sus usos previstos queda transformada en agua residual y su calidad, ahora, está degradada con respecto a la original y sus propiedades resultan perjudiciales para el ambiente acuático

que será el receptor final de ese vertido. Uno de los componentes del saneamiento es la recolección de estas aguas servidas o residuales y su depuración, con el fin de retirar en forma sanitariamente segura las excretas humanas y tratarlas en forma adecuada antes de devolverlas al medio natural (UZCÁTEGUI, 2015) y (GRUPO ORINOCO, 2018).

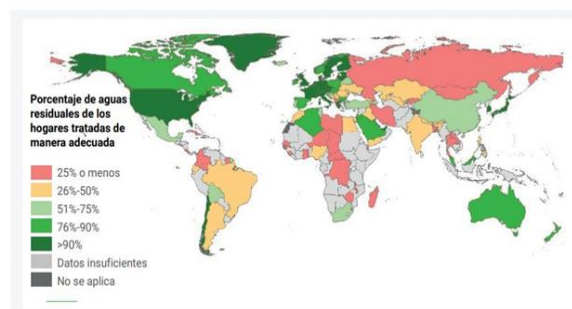


Figura 3. Proporciones estimadas de aguas residuales de los hogares tratadas de manera adecuada, año 2020.

Fuente: ONU-HÁBITAT Y OMS, 2021.

En el entorno urbano, nos referimos a las aguas servidas producidas por la población citadina como efluentes municipales donde convergen todos los líquidos residuales provenientes de las actividades domésticas y urbanas. La composición exacta de las aguas residuales varía en el mundo y está determinada por un amplio conjunto de factores, entre ellos el uso doméstico del agua y el nivel de comercialización/industrialización.

La cantidad de los constituyentes de las aguas residuales varía marcadamente dependiendo del porcentaje y tipo de desechos industriales presentes y de la dilución ocasionada por la entrada de agua subterránea que se infiltra a la red de alcantarillado (CÉSAR Y VÁSQUEZ, 2003). Los principales contaminantes presentes en las aguas residuales (domésticas e industriales) y en la escorrentía (urbana y agrícola) son los sólidos suspendidos, compuestos orgánicos biodegradables y no biodegradables, microorganismos patógenos, nutrientes, metales y sólidos inorgánicos disueltos.

La *composición* (por sus constituyentes físicos, químicos y biológicos), *concentración* (en términos de DBO, que puede ser débil, medio o fuerte), y *condición* (relacionada con la edad de la descarga: fresca, añeja o séptica) de las aguas residuales son los criterios propuestos por McGauhey y citados por FERRARA *et al.* (2010) para clasificarlas. En este sentido, estas autoras indican que en Venezuela se puede señalar que consistentemente los valores que se consiguen colocan a nuestras aguas residuales domésticas en la categoría de **débil**: puede deberse a que nuestros alcantarillados son de tipo mixto y por ello, existe una dilución del líquido residual o porque las pérdidas de agua en suministro son altas y también diluyen los residuales.

La recolección de las aguas servidas: el punto de partida de la gestión

Debe destacarse que, en el caso de los sistemas de recolección mixtos o unitarios, -que están en desuso y no se recomiendan-, se incluirían también las aguas pluviales colectadas en la red municipal. Los sistemas unitarios tienen una serie de inconvenientes, como expresa UZCÁTEGUI (2015), tales como las grandes dimensiones de las canalizaciones y por ello elevados costos, riesgo de refluo de aguas servidas a los domicilios y desborde de las plantas depuradoras durante los períodos de lluvia lo que crea amenazas potenciales para la salud pública y se traduce en el alivio parcial de aguas sin tratar en los cauces naturales. Todas estas razones sustentan la decisión de hacer obligatoria la adopción de sistemas separados para las aguas de lluvia y las aguas servidas, que así discurren a sus destinos finales en canalizaciones separadas.

La fase de depuración o tratamiento: elemento clave en la gestión

La fase de depuración de las aguas servidas, después de su recolección, y que incluyen presencia potencial de patógenos por contener excretas humanas nos enfrenta a una amplia variedad de procesos de tratamiento que las adecúan a características menos agresivas al ambiente. Al momento de realizar el diseño del proceso de tratamiento, debe tomarse en cuenta la garantía de que estos sean eficientes, financieramente sostenibles e integrados en las comunidades a las que sirven. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales abarcan una amplia gama de posibilidades al alcance de los prestadores del servicio, desde los más sencillos como lagunas de estabilización hasta más complejos como los lodos activados, y en algunos casos que lo ameriten, se llega a niveles de tratamiento terciario o avanzado eliminando nutrientes o sustancias recalcitrantes.

Entre las consideraciones a tomar en cuenta para la selección y diseño de los sistemas de tratamiento, se cuentan: la necesidad de ecualización del flujo de entrada y de la carga orgánica; costos de instalación, de operación y de mantenimiento; optimización de los procesos de cribado, tratamiento y emisión de olores; limitaciones climáticas y ambientales; necesidades energéticas; terreno disponible; y, no menos importante, la participación de la comunidad. El terreno disponible para el sistema es uno de los principales factores a considerar para la escogencia del tipo de sistema. Las lagunas de estabilización, de operación y mantenimiento sencillo, requieren de áreas de terreno muy grandes y por eso no se recomiendan en el caso de las ciudades y por el contrario tienen aceptación en las áreas rurales.

Un sistema de tratamiento de aguas servidas está constituido por operaciones y procesos unitarios que pueden presentarse en una variedad de combinaciones y arreglos. Tradicionalmente se agrupan bajo las denominaciones de **tratamiento preliminar** (operación física: remoción de sólidos gruesos), **tratamiento primario** (operación física: remoción de sólidos suspendidos y flotantes), **tratamiento secundario** (procesos químicos y biológicos: remoción de sólidos biodegradables coloidales y disueltos) y **tratamiento**

terciario (también conocido como avanzado) que puede incluir operaciones físicas y procesos químicos para remoción de nutrientes, sustancias recalcitrantes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos (FERRARA-GINER, 2023). Esta secuencia de tratamientos es la forma convencional que se sigue cuando se trata de efluentes de origen doméstico, como es el caso que nos ocupa, enfocado a los efluentes municipales.

Ahora bien, aun cuando las aguas residuales de fuentes domésticas no suelen contener sustancias peligrosas, preocupa cada vez más la posibilidad de que algunos medicamentos que se utilizan habitualmente, aun en bajas concentraciones, puedan tener consecuencias a largo plazo, especialmente los disruptores endocrinos.

En este sentido, cobran especial importancia las industrias artesanales y los negocios de pequeña escala, a los que les está «permitido» operar o lo hacen de forma ilegal. En contextos informales, actividades como la recuperación de plomo de baterías, la minería y el procesamiento de minerales a pequeña escala y el funcionamiento de talleres automotrices, estaciones de lavado de vehículos, pueden conllevar graves riesgos. Los hospitales y clínicas, sobre todo en países en desarrollo, vierten residuos hospitalarios sin tratar. Los métodos de cultivo intensivo y el uso excesivo de antibióticos en la cría de animales han provocado altas concentraciones de estos desechos en las aguas residuales municipales cuando dichos establecimientos vierten sus aguas en el alcantarillado municipal. Es así que aumenta el riesgo de resistencia a los antimicrobianos (RAM).

A continuación, se presenta la Tabla 6 de LESLIE-GRADY *et al.* (1999) que permite ver el amplio espectro de posibilidades existentes para el tratamiento de aguas residuales. Es una primera aproximación que visualiza de una forma general, la vía más adecuada para degradar la materia orgánica soluble, principal contaminante en aguas residuales domésticas. Estos autores presentan la fuerza polucional del residual expresada con base al parámetro DQO (Demanda Química de Oxígeno) y se puede observar que cuando la fuerza del residual es muy baja o es muy grande no conviene el tratamiento biológico (FERRARA-GINER, 2023).

Tabla 6. Alternativas de tratamiento para materia orgánica soluble.

DQO (mg/L)	Tipo de tratamiento
<50	Adsorción (es lo más económico)
50 - 4.000	Tratamiento biológico. Cultivos aerobios
4.000 - 50.000	Tratamiento biológico. Cultivos anaerobios
>50.000	Evaporación Incineración Combustión húmeda

Fuente: LESLIE-GRADY *et al.* (1999)

En el caso de las aguas residuales de entornos urbanos se refiere a un tipo de residual que puede decirse con propiedad es de origen doméstico, y cuya fuerza polucional cae en la franja central, entre 50 y 50.000 mg/l de DQO, por lo que es muy popular el uso del tratamiento biológico para su depuración. En este caso, puede aplicarse el orden convencional que incluye un tratamiento preliminar, seguido de un tratamiento primario y finalmente de un tratamiento secundario del tipo biológico.

En lo referente al **tratamiento biológico**, es necesario recalcar que, en tal caso, implica una amplia variedad de alternativas, cuyo denominador común es requerir el concurso de seres vivos que lleven a cabo la degradación de la materia orgánica biodegradable y otros materiales como los nutrientes. Algunos microorganismos y especialmente, bacterias, son capaces de utilizar en su metabolismo, como sustrato o alimento, los compuestos contaminantes del tipo orgánico biodegradable y los llevan a dióxido de carbono y agua, entre otros compuestos y además producen biomasa. Este proceso de tipo biológico que se lleva a cabo en una planta depuradora no hace más que imitar lo que sucede en la naturaleza en el ciclo biogeoquímico del carbono, solo que lo hace en un tiempo mucho más corto. La selección del tipo de tratamiento biológico que se vaya a utilizar resultará del juicio de expertos en ingeniería sanitaria y ambiental, por la multiplicidad de factores y criterios que influyen en la toma de decisión (FERRARA-GINER, 2023).

La amplia variedad de posibilidades de tratamiento que pueden aplicarse a las aguas servidas de una ciudad, puede resumirse en la Tabla 7.

Tabla 7. Ejemplos de algunos tratamientos biológicos para aguas residuales.

Tipo de tratamiento	Medio	Nombre común
Proceso aerobio	Crecimiento suspendido	Lodos activados
		▪ Convencional
		▪ Aireación extendida
		▪ Zanja de oxidación
Proceso anóxico	Crecimiento adherido	Reactor por carga secuencial, etc.
		Lecho bio-percolador (Trickling filter)
		Bio-discos rotatorios
		Torres biológicas
Proceso anaerobio	Crecimiento suspendido	Desnitrificación con crecimiento suspendido
		Desnitrificación sobre película fija
		Digestión
		UASB (Reactores anaerobios de manto de lodos de flujo ascendente)

Fuente: (FERRARA-GINER, 2023).

Y en Venezuela, ¿cómo han evolucionado las obras hidrosanitarias para el manejo de desechos fisiológicos humanos y de aguas residuales domésticas y municipales?

Las primeras obras de saneamiento de desechos fisiológicos humanos en Venezuela, se realizaron *en seco* mediante programas de letrinización en todo el territorio nacional.

Posteriormente, desde inicios del siglo XX en el hemisferio occidental, y por lo tanto en Venezuela, se implementó la *disposición húmeda* de los desechos fisiológicos humanos. A partir de ese momento el saneamiento ambiental durante los primeros cincuenta años del siglo XX, se realizó principalmente bajo el paradigma “la solución a la contaminación es su dilución”. En la práctica eso significó que se permitieron descargas de aguas residuales municipales a cuerpos receptores superficiales marinos y cuerpos lóticos terrestres, siempre que se demostrara que en el punto de descarga del colector de aguas residuales crudas se lograra una dilución 1 a 8 en volumen. En una fase inicial esa “adecuada dilución” se lograba, pero a medida que incrementó la población aumentaron las cargas poluentes, superando la capacidad de autodepuración de los cuerpos receptores. En esta fase de disposición húmeda no sólo aumentó la carga poluyente por incremento de población, sino que los contaminantes se diversificaron.

RENGEL (1977) y ESPINOSA (2022) señalan que, en Venezuela, desde 1955, se han utilizado lagunas de estabilización como sistemas de tratamiento de efluentes crudos de origen doméstico y municipal. Luego, a partir de 1963, el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) y el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) incluyeron las lagunas de estabilización complementadas con sistemas cloacales en sus actividades de estudios y proyectos para el saneamiento. El MSAS lo hizo con mayor intensidad y desempeño que el INOS, ya que atendía el saneamiento de poblaciones menores en el medio rural no disperso y periurbano. Es así como a partir de 1963 el MSAS incluyó como complemento a sus actividades de cloacas rurales, el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento basadas en lagunas de estabilización, a través de su Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental.

Estado actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el país

La información más reciente recabada en el país muestra que la cobertura de acceso a redes de cloacas en las zonas urbanas es de 78%. En las zonas rurales la cobertura es sensiblemente más baja, porque solo 72% de la población tiene acceso a un sistema de saneamiento mejorado. Tal como se mencionó en el Informe de *Progreso en el tratamiento de las aguas residuales estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS*, los datos sobre la implantación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el país son escasos y no actualizados.

NÁJUL Y BLANCO (2014) expresan que puede estimarse que un 30% de las aguas residuales municipales recibe tratamiento en Venezuela y que fundamentalmente se usan lagunas de estabilización (anaerobias, facultativas y aireadas), lodos activados y en menor proporción reactores anaerobios de manto de lodos de flujo ascendente, lechos bio-percoladores y bio-discos rotatorios. Es muy plausible que al día de hoy ese porcentaje sea aún menor. Esta suposición la

corroborar lo citado por GRUPO ORINOCO (2018) que expresa que la casi totalidad de las plantas de tratamiento de aguas servidas estaban inoperativas según información obtenida de HIDROVEN, trayendo como consecuencia la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Un caso emblemático por su gravedad es la cuenca del Lago de Valencia donde los cuerpos receptores de aguas servidas son al mismo tiempo abastecedores de agua a las ciudades localizadas dentro de la cuenca. Por informaciones aparecidas en los medios de comunicación, a manera de ejemplo, la PTAR de La Mariposa, en el estado Carabobo, ha sido desmantelada por delincuentes en varias incursiones y ya no puede operar. Esta situación no es exclusiva de esa zona.

De hecho, identificar y detallar el estado actual de cada sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en cada estado de Venezuela es una tarea compleja debido a la falta de información pública y actualizada, la variabilidad operativa de las plantas y el deterioro generalizado de la infraestructura. Sin embargo, se describe de forma general por estado, con base en los tipos de sistemas instalados y situación general

reportada en el país (LUZARDO *et al.* 2015; ZAMBRANO, 2016).

En diversas urbanizaciones y zonas residenciales de Caracas (por ejemplo, en El Hatillo, Baruta, algunas zonas del este), existen pequeñas plantas compactas o sistemas de lodos activados de aireación extendida que fueron instaladas en el momento de su construcción, cuyo caudal varía entre 20-50 L/s, dependiendo del tamaño de la urbanización. La operatividad de las mismas es muy variada; muchas están inoperativas o con mantenimiento deficiente, mientras que algunas comunidades o administraciones de condominios hacen esfuerzos por mantenerlas.

Es crucial entender que la capacidad instalada no siempre se traduce en capacidad operativa, y la mayor parte de los sistemas de tratamiento, incluso los de gran tamaño, funcionan por debajo de su capacidad de diseño o se encuentran completamente inoperativas, siendo responsabilidad de las empresas hidrológicas regionales la gestión de estos sistemas (Tabla 8).

Tabla 8. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales construidas en el país.

Ubicación	Identificación de la planta	Características
Estado Miranda	PTAR El Chorrito	Esta planta fue diseñada para una población a servir de 140.000 personas; con un caudal de diseño 400 L/s y un caudal máximo de 1000 L/s. Actualmente, según vista de Google Earth, se encuentra presuntamente abandonada, por la presencia de tanques con capa verde y la ausencia de vehículos en sus áreas.
Estado La Guaira	PTAR Arrecife	Sistema de lodos activados convencional.
Estado Carabobo	PTAR La Mariposa	Sistema de lodos activados con caudal de diseño de 4.360 L/s para una población equivalente de 1.254.240 habitantes.
Estado Mérida	PTAR El Anís	Es una de las plantas más importantes de la ciudad de Mérida. Aunque no se encontró un caudal de diseño específico y actualizado en las fuentes consultadas, una planta de esta envergadura, diseñada para servir a una porción considerable de la capital, estaría diseñada para manejar un caudal de cientos a posiblemente más de mil litros por segundo (l/s). Es crucial para el saneamiento de la cuenca del río Albarregas o el río Chama.
Estado Táchira	PTAR La Blanca (San Cristóbal)	Es una de las plantas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados más grandes e importantes de San Cristóbal. Se ha mencionado una inversión considerable en esta planta, lo que sugiere una capacidad de diseño importante. Aunque no se encontró el caudal exacto, una planta para una ciudad como San Cristóbal estaría diseñada para manejar caudales de cientos a miles de litros por segundo.
Estado Trujillo	PTAR La Vuelta del Diablo (Valera)	Lodos Activados.
	PTAR Eje vial Valera Trujillo.	Lagunas de estabilización.

Para el caso del **estado Zulia**, la Tabla 9 describe los principales sistemas de tratamiento de aguas residuales en el Estado Zulia, sin embargo, la mayoría se encuentran

inoperativas. En agosto de 2023 en el marco de las actividades de la Comisión Presidencial para el Rescate, Conservación y Desarrollo Sustentable del Lago de Maracaibo, el Ministerio

del Poder Popular de Atención a las Aguas anunció un plan de recuperación de 27 plantas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca del Lago de Maracaibo, priorizando 11 de ellas, incluyendo las PTAR Maracaibo-Sur, Cabimas y Ciudad Ojeda. Hasta la fecha se ha recuperado en el Municipio Cabimas, en la Costa Oriental del Lago, la PTAR El Swiche y las estaciones de bombeo R-5, La Montañita y Punta Icotea.

Las condiciones actuales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Venezuela, en gran medida, son precarias y constituyen un desafío ambiental y de salud pública significativo con deterioro y obsolescencia generalizada, donde gran parte de la infraestructura de tratamiento es de vieja data y ha sufrido un severo deterioro debido a la ausencia de mantenimiento preventivo y precario correctivo, la obsolescencia de los equipos y la escasez de repuestos; inoperatividad u operación deficiente ya que la mayoría de las plantas de tratamiento están parcial o totalmente inoperativas y las que operan, a menudo lo hacen por debajo de su capacidad de diseño, esto resulta en la descarga de aguas residuales crudas o insuficientemente tratadas a los cuerpos de agua, afectando seriamente los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad y limita el reúso recreativo, industrial y agrícola de sus efluentes.

Impacto en la Salud Pública

La exposición a aguas residuales no tratadas o mal tratadas incrementa el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, como el cólera, fiebre tifoidea, giardiasis, disentería, y otras afecciones gastrointestinales y dérmicas en las poblaciones humanas.

¿Qué nos ofrece la economía circular del agua en el tema de gestión de ARM?

La economía circular, en contraste con la economía lineal de "tomar-fabricar-consumir-desechar", tiene como objetivo desvincular el crecimiento económico del uso de los recursos y los impactos ambientales asociados. La noción de desacoplamiento es que la producción económica debe seguir

aumentando al mismo tiempo que se ralentizan las tasas de aumento del uso de los recursos y del impacto ambiental, y con el tiempo se reduce la disminución (LERWEN Y RAMAKRISHNA, 2021). Además de que el agua es fundamental para satisfacer las necesidades básicas de todos los seres vivos, el agua en la economía circular del agua se valora como un servicio, una fuente de energía y un portador de recursos (BREARS, 2020).

La visión actual de la economía circular nos enfrenta a un nuevo paradigma: la reutilización segura del agua residual, que es una alternativa de manejo de las aguas residuales que busca la utilización planificada de los efluentes de aguas servidas, tratados hasta cierto nivel (aguas regeneradas). Esta es una vía sostenible válida a considerar en la gestión del recurso hídrico para incrementar la oferta. Estas aguas regeneradas deben considerarse un recurso no convencional junto a otras opciones viables existentes.

A nivel mundial, actualmente, las agencias encargadas del suministro de agua han dirigido su atención al uso de efluentes de aguas residuales tratadas como un "recurso" de confianza y se presenta como otra opción. La reutilización de aguas residuales significa una doble ganancia, por una parte, se usa como un recurso para propósitos beneficiosos y por la otra el efluente no llega a ríos y lagos y se reduce la polución de aguas y acuíferos. Esta ventaja no es despreciable y debe sumarse a que el agua regenerada pueda reutilizarse en casos, donde, en la actualidad se esté usando agua de gran calidad, como sucede en determinados usos industriales y liberar estos caudales para otros usos más exigentes, como el agua potable (FERRARA-GINER, 2023).

Poco a poco se está dando un cambio de opinión en torno a la idea de la reutilización de las aguas residuales y en algunos países con estrés hídrico, el agua residual se ve como un recurso. Los costos del tratamiento, las objeciones del público, las cuestiones de salud y la preocupación por la seguridad en este sentido, ha limitado las aplicaciones de la reutilización del agua a usos no potables (FERRARA-GINER, 2023).

Tabla 9. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales en el Estado Zulia.

Planta de Tratamiento	Ubicación por Municipio	Localización	Capacidad (L/s)	Tipo de Tratamiento	Uso Posterior del Agua
S.T Maracaibo	Maracaibo	Costa Occidental	5.200	Laguna de Estabilización	Recurso Agrícola
P.T Centro de Investigaciones del Agua	Maracaibo	Costa Occidental	14	Laguna de Estabilización	Recurso Agrícola
S.T Sur	San Francisco	Costa Occidental	600	Laguna de Estabilización	Recurso Agrícola
P.T Nuevo Palmarejo	La Cañada de Urdaneta	Costa Occidental	14	Lodos Activados	Descarga al Lago
Laguna de Estabilización Cañada de Urdaneta	La Cañada de Urdaneta	Costa Occidental	14	Laguna de Estabilización	Descarga al Lago
P.T Santa Cruz	Mara	Costa Occidental	14	Lodos Activados	Descarga al Lago
Lagunas de Carrasquero	Mara	Costa	7	Lagunas de	Descarga al Lago

		Occidental		Estabilización	
P.T Carrasquero	Mara	Costa Occidental	16	Mara	Costa Occidental
P.T Don Bosco	Mara	Costa Occidental	2	Laguna de Estabilización	Recurso Agrícola
P.T. Parroquia Libertad	Machiques de Perijá	Costa Occidental	45	Lodos Activados	Descarga al Lago
P.T. Parroquia Bartolomé	Machiques de Perijá	Costa Occidental	65	Lagunas de Estabilización	Descarga al Lago
P.T. San José de Perijá	Machiques de Perijá	Costa Occidental	16	Laguna de Estabilización	Descarga al Lago
P.T. Villa del Rosario	Rosario de Perijá	Costa Occidental	45	Lodos Activados	Descarga al Lago
S.T Cabimas	Cabimas	Costa Oriental	1.100	Laguna de Estabilización	Recurso Agrícola
P.T Ciudad Sucre	Cabimas	Costa Oriental	10	Laguna de Estabilización	Descarga al Lago
S.T Ciudad Ojeda	Lagunillas	Costa Oriental	800	Laguna de Estabilización	Descarga al Lago
P.T Bachaquero	Valmore Rodríguez	Costa Oriental	52	Lodos Activados	Descarga al Lago
P.T Santa Rita	Santa Rita	Costa Oriental	52	Lodos Activados	Descarga al Lago
Laguna de Mene Grande	Baralt	Costa Oriental	130	Lodos Activados	Descarga al Lago
P.T Batatal	Baralt	Costa Oriental	23	Laguna de Estabilización	Sin Información
P.T La Chamarreta	Baralt	Costa Oriental	7	Tanque Imhoff	Sin Información
P.T Baralt	Baralt	Costa Oriental	7	Filtros Percoladores	Descarga al Lago
Laguna de San Lorenzo	Baralt	Costa Oriental	23	Laguna de Estabilización	Descarga al Lago
P.T. Caja Seca	Sucre	Sur del Lago	12	Laguna de Estabilización	Sin Información
P.T. Santa María	Sucre	Sur del Lago	13	Laguna de Estabilización	Descarga al Lago
Lagunas El Guayabo	Colón	Sur del Lago	10	Laguna de Estabilización	Descarga al Lago
S.T. Santa Bárbara del Zulia	Colón	Sur del Lago	150	Laguna de Estabilización	Recurso Agrícola

Tomado de CORONA (2011).

Ejemplos de esta opción son muy numerosos en todo el orbe. El caso pionero en el mundo de la ciudad de Windhoek, capital de Namibia es digno de mencionar. Esta zona sufre de escasez del recurso hídrico y está sometida a sequías recurrentes. Con una experiencia acumulada de más de 50 años han reutilizado sus aguas residuales en el sistema de abastecimiento para complementar la escasez del recurso. Actualmente el suministro de agua potable se incrementa mezclando el producto de una planta convencional de potabilización con 25% de aguas residuales recuperadas usando tratamientos avanzados. Se usa un enfoque de barreras múltiples que trata el efluente de su sistema de tratamiento de aguas residuales aplicado hasta nivel terciario y luego se almacena en estanques con un tiempo de retención entre 2 y 4 días. El efluente final de esta etapa es el agua cruda que entra a la planta de potabilización avanzada donde es sometido a nueve (9) pasos de operaciones y procesos: pre-ozonización, coagulación/floculación, flotación con aire

disuelto, filtración con un medio dual, ozonización, filtración biológica con carbón activado, adsorción con carbón activado granular, ultrafiltración, desinfección y estabilización del pH (PLASENCIA, 2018). El agua potable obtenida cumple con los estándares y pautas internacionales, entre ellas las de la OMS y es monitoreada de manera continua y con rigurosidad. No hay rechazo de parte de los consumidores a usar esta agua potable. Tras más de cinco décadas reutilizando las aguas servidas, las campañas educativas para su aceptación han surtido efecto.

En el resto del planeta la reutilización en aguas de riego es común. Es una práctica madura en Israel, las islas Canarias y las islas Baleares y en expansión en Chipre, Malta, España, Italia y Francia. En Estados Unidos la reutilización de las aguas residuales data de comienzos del siglo XX con ejemplos para regadío de cultivos y zonas verdes como campos de golf y parques y también para recarga de acuíferos, que en este

caso se usa para reposición del agua subterránea, control de intrusión salina o control de subsidencia. Se estima que 20 millones de hectáreas de tierra agrícola son irrigadas por agua residual sin tratar, parcialmente tratada y con agua de ríos contaminados por aguas residuales (UNEP/WWAP, 2009) y esto corresponde al 7% de toda la tierra bajo riego en el mundo (WHO, 2020).

Un caso de reutilización, que podríamos definir como muy particular, y que podría redundar en un ahorro importante de agua, es el referido a la separación de los sistemas de drenaje de las residencias. Es otra de las vías de uso sostenible y que podría implementarse sin costos mayores. Las “aguas negras” que contienen microorganismos patógenos (provenientes de los sanitarios o WC) se recolectan separadamente de las “aguas grises”, sin presencia de tales microorganismos y provenientes de duchas, bañeras, lavadoras, fregaderos, limpieza de pisos, entre otros usos. En el caso de las aguas grises, que pueden alcanzar entre el 60 y 80% de toda el agua residual de una vivienda familiar, es posible su reutilización - contando con algún sistema sencillo de depuración- para usos como el riego de jardines o el llenado de los tanques del WC. Significa un ahorro en el consumo de agua potable y además implica una disminución de las aguas residuales que, caso contrario, finalmente irían a las redes de alcantarillado (FERRARA-GINER, 2023).

Además, la relación de la economía circular del agua con el cambio climático...

En la economía lineal, el suministro de agua y el tratamiento de las aguas residuales requieren cantidades significativas de energía, cuya producción es responsable de grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero.

En la economía circular del agua, el proceso de extracción, distribución y tratamiento del agua ofrece varias opciones para reducir las emisiones de carbono, incluido el aumento de la eficiencia energética y la producción de energía renovable a partir de una variedad de fuentes, incluido el biogás de las plantas anaeróbicas de tratamiento de aguas residuales, la recuperación de calor de las aguas residuales y el uso de energía hidroeléctrica.

Adicionalmente, la implementación de estrategias de mitigación tiene muchos beneficios colaterales, entre ellos: periodos de amortización a menudo inferiores a dos años para las inversiones en tecnologías energéticamente eficientes; reducción de la demanda de energía de las empresas de agua dando más disponibilidad del recurso para otros sectores y la consecuente disminución de los costos operativos; tarifas más bajas para los usuarios por la reducción de los costos de energía; así como la protección de los recursos hídricos.

Un marco legal sin desarrollar en torno a la economía circular: la gran limitante

A diferencia de otros aspectos relacionados con la gestión de los recursos hídricos, en lo relativo a la reutilización, el

marco jurídico que lo respalde no ha se ha desarrollado con igual fuerza en muchos países.

En nuestro país no existe actualmente una normativa que específicamente trate este tema. En el año 2010 estaban listas unas *Normas sanitarias para la vigilancia y control del reúso de las aguas residuales tratadas* propuestas por el Ministerio de Salud y que ya habían sido sometidas a consulta pública. Finalmente, no se concretó su aprobación. Es un vacío que habrá que llenar. Se requieren conocer los criterios de calidad que deberían exigirse al agua recuperada según el uso que se le vaya a dar: usos urbanos, usos agrícolas, usos industriales, usos recreativos y usos ambientales (FERRARA-GINER, 2023).. De igual manera la economía circular no es una política de estado manifiesta en Venezuela.

Algunas líneas de acción para mejorar la gestión de las aguas residuales

Se ha revisado sucintamente el manejo de las aguas residuales municipales, incluyendo la depuración. Es importante señalar una serie de líneas de acción que puedan mejorar la gestión de estas aguas. A continuación, se presentan las consideradas más relevantes:

- Dada la importancia de la economía circular en el mundo actual y por venir, se hace necesario establecer una política explícita por parte del Estado Venezolano.
- Dada la importancia que tiene la recuperación y reutilización de las aguas servidas como factor de desarrollo sustentable, debe impulsarse la reutilización de las aguas servidas en todos los ámbitos donde sea posible. El riego, que a nivel global ya es una tecnología madura, debe considerarse una primera vía. En el caso de las ciudades, el riego de los parques y espacios públicos es una opción.
- Establecimiento de planes de mantenimiento del complejo sistema de gestión de las aguas residuales municipales.
- Rehabilitación de las plantas depuradoras existentes y actualmente fuera de servicio.
- Monitoreo sistemático de la calidad de los efluentes de las plantas depuradoras activas.
- Digitalización de todo el sistema de manejo de las aguas residuales municipales.

10. Una propuesta con visión de futuro para el sector Agua Potable y Saneamiento en Venezuela

MORA *et al.* (2006) indican que es fundamental avanzar hacia verdaderos sistemas de información gerencial que garanticen el flujo de información oportuna y veraz a todos los niveles de la empresa. Como fase inicial, se recomienda realizar una revisión exhaustiva mediante minería de procesos.

▪ Levantamiento catastral de redes y clientes

Para gestionar eficientemente la información de redes, en sintonía con un sistema de información gerencial, es necesario utilizar tecnologías avanzadas para la ubicación precisa de tuberías. Los georradars representan una solución óptima, ya que detectan tanto materiales plásticos como metálicos. Para maximizar su efectividad, se deben emplear equipos con antenas multifrecuencias capaces de detectar objetivos entre 0,5 m y 10 m de profundidad.

En cuanto a sistemas comerciales, además de rediseñar el sistema de información para gestionar datos y establecer balances hidráulicos básicos, resulta crucial retomar la medición individualizada de consumos (NARIÑO, *et al.* 2018) que por otro lado, (MORA, *et al.*, 2006) demuestra que la introducción de la micro medición en usuarios que no la tienen, puede reducir los consumos hasta en un 20%.

Es recomendable avanzar progresivamente desde contadores de medición por velocidad de flujo hacia medidores volumétricos, mejorando simultáneamente la calidad del agua suministrada a la red. La implementación de micromedidores debe complementarse con políticas de gestión de calidad, talleres especializados y estrategias de reemplazo óptimo que minimicen pérdidas aparentes o por errores de medición. Se debe progresar mediante sectores piloto en la introducción de medidores inteligentes (Smart Meters), que permiten una medición más precisa y transmisión en tiempo real de los consumos.

Una vez sistematizados estos procesos, se pueden desarrollar gemelos digitales del sistema, que van más allá del simple modelaje de procesos hidráulicos e hidrológicos, aplicándose también a áreas operacionales y transaccionales de la empresa.

▪ Tecnologías de información y comunicación

Las tecnologías basadas en enfoques de Industria 4.0 e Industria 5.0 son altamente relevantes, comenzando con sistemas de transmisión, control y medición inteligente gestionados desde un sistema de control operacional. El desarrollo de aplicaciones móviles permite a los usuarios informarse y reportar averías mediante sus smartphones. Ya existen iniciativas como "Appmenazas", desarrollada por el Centro de Investigación Integral en Gestión de Riesgos (CIGIR) y la Universidad Simón Bolívar (LSIGMA-USB), que permiten reportar fugas o informar sobre zonas con riesgo de crecidas o inundaciones.

Las tecnologías de rehabilitación de conductos sin necesidad de apertura de zanjas representan una opción viable para los sistemas de recolección del país, que en su mayoría superan los 50 años de vida útil. Estas tecnologías están ampliamente desarrolladas y su implementación puede ser rápidamente asimilada.

▪ Inteligencia Artificial

La revolución de la Inteligencia Artificial (IA) constituye un hito fundamental para el sector, fundamentando los conceptos de Industria 5.0 que deben alcanzarse en servicios de agua potable y saneamiento. Es necesario considerar dos vertientes:

El aprendizaje por refuerzo profundo (DRL), aplicable a partir de gemelos digitales del sistema, permitirá optimizar el uso energético, especialmente en consumos por bombeo, y reducir efectivamente el Agua No Contabilizada (ANC) en sus componentes físicos, financieros y comerciales.

La Inteligencia Artificial Generativa (IAG) está facilitando la socialización del conocimiento, representando un avance tecnológico comparable al impacto de internet. Esto permite compartir procesos y conocimientos tanto dentro de las empresas de servicios como con los usuarios, ayudándoles a comprender la complejidad de los servicios y a asumir su rol en la vigilancia de la calidad. En este sentido, la Iniciativa BIDLab del BID está apoyando proyectos orientados al desarrollo de IA e Industria 5.0 en países de América Latina y el Caribe.

Reflexiones de cierre

La Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat considera que el debate sobre la institucionalidad del servicio de agua potable continúa abierto. Las experiencias acumuladas respecto a las posibilidades planteadas en la LOPSAPS son pocas, no están estudiadas y evaluadas. Los instrumentos de gobernanza presentan limitaciones respecto a los planteamientos y prácticamente se desconocen los resultados de esta nueva forma de gobierno compartido.

Por ello considera y asume como propósito el estudio de experiencias nacionales e internacionales, su sistematización, la compilación y propuesta orgánica de mejoras a los mecanismos instituidos para la gestión de los servicios de agua potable y saneamiento con base a las lecciones de experiencia obtenidas y su contraste con los marcos teóricos propuestos.

El índice APGAR de importante observación, en Venezuela no solo por su propuesta mundial a través de Banco Mundial (WB) para benchmarking, que a través del mismo se puede hacer un diagnóstico rápido del estado de los servicios en el país.

Es necesario que el Estado Venezolano a través de sus Instituciones retomen la buena práctica de generar y publicar la información básica requerida para poder diagnosticar la infraestructura hidrosanitaria de los servicios de APyS en el país, a fin de poder diagnosticarlos y formular la rehabilitación, la ampliación y la extensión requerida por los mismos. Ningún sistema puede ser intervenido si no se tiene la información requerida.

Para fortalecer la implementación de la Economía Circular del Agua como una herramienta de apoyo a la gestión del agua, se recomienda al Estado Venezolano decretar la Economía Circular como política de Estado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE. 1999. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela: Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.860 del 30-12-1999. Caracas, Venezuela.
- ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2006. Ley Orgánica del Poder Público Municipal: Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.806 del 10-04-2006. Caracas, Venezuela.
- ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2007. Ley de Aguas: Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.595 del 02-01-2007. Caracas, Venezuela.
- ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2007. Ley Orgánica de Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.763 del 06-09-2007. Caracas, Venezuela.
- ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2007. Ley de Reforma Parcial de la Ley Orgánica de Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.763 del 06-09-2007. Caracas, Venezuela.
- ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 2018. Decreto N° 3.367 Reglamento de la Ley de Aguas. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 41.377 del 13-04-2018. Caracas, Venezuela.
- BAUSSON N. 2018. Sector Servicio de Agua Potable y Saneamiento. Publicado por Transparencia Venezuela en: Empresas Propiedad del Estado II. [Consultado: 06-07-2020]. Disponible en: <https://transparencia.org.ve/wp-content/uploads/2018/11/EPE-II-Sector-Agua.pdf>
- BREARS, R. 2020. Developing the Circular Water Economy. Christchurch, New Zealand: Palgrave Studies in Climate Resilient Societies. [Consultado: septiembre 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32575-6>
- CÉSAR E. Y VÁSQUEZ A. 2003. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México: Fundación ICA, A.C.
- CIUDADANÍA SIN LÍMITES. Monitor Ciudad (2020). El Agua en Caracas. Análisis situacional y propuesta para la gestión técnica del acueducto metropolitano. Serie de informes de cierre del Diplomado “Programa de Formación de Gerentes para la Industria del Agua y Saneamiento”, realizado por IESA 2020-2021. *No Publicados*.
- CORONA J. 2011. Estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. Rev. Multiciencia. 2011; 11(4): 340-352.
- DE LOS RÍOS, I. 2014. Breve reseña de la legislación ambiental venezolana. Ediciones de la Asamblea Nacional. Caracas.
- ECHENIQUE B, VEGA E Y GONZÁLEZ A. 2025. Recursos Hídricos en Venezuela. Enfoques para la Gestión. Capítulo en libro Tomo II Fundamentos de Ingeniería Ambiental. En proceso de edición; Caracas, Venezuela: ANIH-VE.
- ENCOVI. 2024. Encuesta Nacional de Condiciones de Vida. UCAB.
- ESPINOSA C, RODRÍGUEZ J, ROSALES J, DELGADO F, MORA L., GARCÍA M Y BANDES, T. 2023. Infraestructura hidráulica de Venezuela. En: Pérez J, Bandes T, Sandia L. & Olivo Y. (Eds.). Plan de Iniciación: Instrumentos para la gestión integrada de recursos hídricos en Venezuela. CD/152/PNUD/2021: Asistencia técnica para desarrollar instrumentos para la gestión integrada de recursos hídricos en Venezuela. Tomo I: Información de los recursos hídricos y su gestión en Venezuela (pp. 269-311). Producto del Proyecto Plan de Iniciación: Instrumentos para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Venezuela, número de index 00140404, SDP/152/MINEC/2021. Venezuela: (En imprenta).
- ESPINOSA C. 2022. Modelo de gestión para lagunas de estabilización en el medio rural venezolano. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Aplicadas. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- FERRARA - GINER. 2023. Líneas de acción para la gestión urbana del agua en el marco de la gestión ambiental urbana. Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. 2023; N° 60, julio-septiembre 2023: 8-27.
- FERRARA G, NAJUL M Y SÁNCHEZ R. 2010. Calidad del Agua.. Mérida, Venezuela: Casa Editora CIDIAT.
- GONZÁLEZ E Y MATOS M. 2012. Manejo de los Recursos Hídricos en Venezuela. Aspectos Generales. Presentado en Diagnóstico del Agua en las Américas. Laclete JP & Zúñiga (Editores). Foro Consultivo Científico y Tecnológico: Red Interamericana de Academias de Ciencia; 2012.
- GONZÁLEZ E, ORTAZ M, PEÑA C Y MATOS M. 2004. Fitoplancton en un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche): abundancia, biomasa y producción primaria. Interciencia. 2004; 29(10).
- GRUPO ORINOCO. 2018. Hoja de ruta para recuperar los servicios de agua potable y saneamiento en Venezuela. Caracas, Venezuela: Grupo Orinoco.
- GUTIÉRREZ A. 1998. Tiempos de guerra y paz. Arnoldo Gabaldón y la investigación sobre la malaria en Venezuela 1936-1990. Caracas, Venezuela: Centro de Estudios del Desarrollo, Universidad Central de Venezuela.
- HIDROCAPITAL. Historia. [Consultado: mayo 2025]. Disponible en: <https://hidrocapital.gob.ve/historia/>
- IVES, J.K. 1978. The scientific basis of flocculation. NATO Advance Study Institutes Series. Series E: Applied Science N°27. UK.
- LERWEN L Y RAMAKRISHNA S, EDS. 2021. An Introduction to Circular Economy. Springer Nature

- Singapore Pte Ltd; 2021. [Consultado: septiembre 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8510-4>
- LESLIE - GRADY L, DAIGGER, GH Y LIM, H. 1999. Biological Wastewater Treatment. 2° Ed. Marcel Dekker, Inc. New York.
- LOZANO L Y SÁNCHEZ P. 2017. Sistema de instrumentación, actuación y automatización de una planta de tratamiento de agua potable para campamentos de pozos petroleros (PTAP). Proyecto de Grado: Universidad Piloto de Colombia; [Internet]. [Consultado: 05-09-2020]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4908/50826%20%20Lozano%20Suárez%20Liseth%20Dayana%2C%20Sánchez%20Guzmán%20Paula.pdf?sequence=1&isAllowed=1>
- LUZARDO R., JF. Y ZAMBRANO P., JN. 2015. Remoción de fósforo de aguas residuales tratadas empleando lodo químico generado en procesos convencionales de potabilización. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingenieros Químicos. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo. Venezuela.
- MARNR. 1979. Los Decretos Conservacionistas del Libertador.
- METCALF Y EDDY, INC. 2003. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. Ed. 4°. New York: McGraw Hill; 2003.
- MINAMB. 2020. Recursos Hídricos de Venezuela. Primera Edición. Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Ministerio del Ambiente.
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR DE ATENCIÓN DE LAS AGUAS. 2025. 843 habitantes de Yaracuy son atendidos tras reactivación de pozo profundo. Prensa MinAgua / Aguas de Yaracuy 20-3-2025. Disponible en: <https://minaguas.gob.ve/?p=11928>
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA SALUD (MPPPS). 2016. Boletín Epidemiológico 52; Diciembre 2016.
- MORA L, NALESSO M Y LIÑAYO A. 2020. Riesgo climático y definición de estrategias financieras para su mitigación en el sector agua y saneamiento en ALC. Agua y Saneamiento: Visión general de los sistemas de suministro ante el cambio climático. Implicaciones de los acuerdos de París (NDCs). Washington: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- MORA L, RODRÍGUEZ L, Y MEDINA M. 2006. Análisis de consumos promedios para las ciudades de Mérida y El Vigía, Venezuela. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Puerto Ordaz, Venezuela; 2006.
- NACIONES UNIDAS. 2010. Resolución 64/292: El Derecho Humano al Agua.
- NACIONES UNIDAS. 2015. Proyecto Agenda 2020 para el Desarrollo Sostenible. Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas del 25-9-2015.
- NAJUL M Y BLANCO H. 2014. Estrategias de mejora continua en plantas potabilizadoras venezolanas. Rev. Fac. Ing. Universidad Central de Venezuela. 2014; 29(1).
- NARIÑO R, HENAO A Y MORA L. 2018. Comportamiento en cuanto al uso del agua potable de usuarios pertenecientes a diferentes zonas socioeconómicas de la ciudad de Mérida (Venezuela). Ciencia e Ingeniería, 2018; 39(3).
- OBSERVATORIO VENEZOLANO DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS. Boletín Informativo N° 20. Febrero 2021. [Internet]. 2021. [Consultado: 3-05-2021]. Disponible en: www.observatoriovsp.org.
- ONU - HÁBITAT Y OMS. 2021. Progresos en el tratamiento de las aguas residuales. Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS. Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS).
- PLASENCIA R. 2018. Reutilización de agua en Namibia. Seminario presentado en asignatura “Evaluación y Control de la Polución del Agua”. Caracas, Venezuela: Maestría Ingeniería Sanitaria UCV.
- QADIR M *et al.* Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. Natural Resources Forum. 2020. (44,1). 40:51.
- RENGEL M. 1977. Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico. Experiencia venezolana. Serie Ambiente y Recursos Naturales. N°AR-5. Mérida, Venezuela: Casa Editora CIDIAT.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA, MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL. 1998. Resolución N° SG- 018-98 del 11-02-1998, mediante la cual se dictan las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.395 del 13-02-1998. Caracas, Venezuela.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA, MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL. 1997. Resolución N° SG- 691 del 24-09-1997, mediante la cual se dictan las Normas para la ubicación, construcción, protección, operación y mantenimiento de pozos perforados destinados al abastecimiento de agua potable. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.298 del 24-09-1997. Caracas, Venezuela.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA, MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL. 1995. Resolución N° SG-1323 del 19-10-1995 mediante la cual se dictan las Normas Sanitarias para el Control de Agua Potable Transportada en Camiones Cisternas. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 35.827 del 31-10-1995. Caracas, Venezuela.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA. 1995. Decreto N° 883 del 11-10-1995, mediante la cual se dictan las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 del 18-12-1995. Caracas, Venezuela.
- RIVAS MIJARES G. 1997. Plantas de Tratamiento para Agua Potable. Introducción en el libro: El Agua. Plantas de tratamiento. Edición Especial Tomo III del MARNR. Venezuela.
- ROJO M Y MORA L. 2023. Planificación de drenajes urbanos sostenibles como herramientas para mejorar el

- metabolismo de la ciudad de Mérida-Venezuela. Ciencia e Ingeniería, Universidad de Los Andes. 2023; 48(2).
- SCHIPPERS, J. 1990. Water treatment. Lecture notes. EE004/90/1. IHE-DELFT. The Netherlands.
- TRAPOTE, A. Y FERNÁNDEZ R., H. 2016. Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible. Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias ambientales. Uni. Alicante. Consultado el 14-08-20 en <http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cb413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c>
- UN – WATER / WWAP. 2003. Agua para todos. Agua para la vida. 1º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. París, Francia: UNESCO.
- UNEP / WWAP (United Nations World Water Assessment Program). 2014. The world water report 3: Water in a changing world. París: UNESCO. [Internet]. 2014. [Consultado: 31-07-2009]. Disponible en: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2009>
- UNEP / WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2009. The United Nations World Water Development Report 3. Water in a Changing World. Paris. UNESCO and London: Earthscan.
- Uzcátegui G. 2015. El agua y los asentamientos humanos. Cap. 12 en: Gabaldón A, Rosales A, Buroz E, Córdova J, Uzcátegui G & Iskandar L (Eds.) Agua en Venezuela: una riqueza escasa. Primera edición. Caracas, Venezuela: Fundación Empresas Polar.
- Uzcátegui G. 2023. Conferencia del Programa de Formación de Gerentes en la Industria de Agua y saneamiento. Debates IESA: INOS una gestión profesional e incorruptible convertida en paradigma de gerencia pública. Caracas, Venezuela.
- VAN BREEMEN, A. 1994. Water treatment: conventional and advanced treatment methods. Lectures notes. EE022/94/1. IHE-DELFT. The Netherlands.
- WHO (World Health Organization). Water Quality and Health Strategy 2013-2020.
- ZAMBRANO, RV. 2016. Modelo cinético del proceso de nitrificación/desnitrificación biológica para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Trabajo de Grado. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. División de Postgrado. Maracaibo, Venezuela.