Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. ISSN 1317-6781
Caracas, Nº 65 Octubre-Diciembre 2024

CAMBIO CLIMÁTICO, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y DESARROLLO SOSTENIBLE (CARACTERÍSTICAS, IMPACTOS Y PROYECCIONES)

Griselda FERRARA DE GINER[1]

RESUMEN

En este trabajo se hace una descripción de la problemática del cambio climático que amenaza a la humanidad, producto del incremento del CO2 y otros gases de efecto invernadero, responsables por el calentamiento global y que son consecuencia de la quema de combustibles fósiles. Se discute la descarbonización de la economía, proceso progresivo de reducción de emisiones de carbono, sobre todo de dióxido de carbono, a la atmósfera, con la idea de lograr una economía global con bajas emisiones a través de la transición energética, que supone un cambio estructural a largo plazo de los sistemas energéticos y que se basa en incrementar la eficiencia energética y el uso de energías renovables.

Se concluye que es perentorio tomar medidas para descarbonizar el modelo de desarrollo atado a los combustibles fósiles y que es el principal detonante del cambio climático, todo en pro de alcanzar el desarrollo sostenible.

ABSTRACT

Climate change, energy transition and sustainable development (characteristics, impacts and projections)

This paper describes the problem of climate change that threatens humanity, as a result of the increase in CO2 and other greenhouse gases, responsible for global warming and which are a consequence of the burning of fossil fuels. The decarbonization of the economy is discussed, a progressive process of reducing carbon emissions, especially carbon dioxide, into the atmosphere, with the idea of achieving a global economy with low emissions through the energy transition, which involves a long-term structural change in energy systems and is based on increasing energy efficiency and the use of renewable energy. It is concluded that it is imperative to take measures to decarbonize the development model tied to fossil fuels and which is the main trigger of climate change, all in order to achieve sustainable development.

Palabras Clave: Cambio climático, transición energética, desarrollo sostenible.
Keywords: Climate change, energy transition, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la humanidad enfrenta un problema planetario sin precedentes en los últimos 800.000 años de vida de la Tierra, lo que conocemos como el cambio climático, de origen antrópico, como lo afirma el 6º reporte del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022) con pruebas contundentes y que potencialmente puede producir un incremento de la temperatura mayor a 1,5ºC en las próximas décadas, a menos que hagamos algo para disminuir los gases de efecto invernadero que producimos actualmente y que alcanzan la gigantesca cifra de 36.300 millones de toneladas de CO_2 en 2021. (ONU, 2022)

Esta realidad climática que nos amenaza sin ninguna duda, y cuyas consecuencias ya se sienten en todo el globo, está muy bien fundamentada en los informes del IPCC, que desde el primero, publicado en 1990 y hasta el sexto y último, publicado entre 2021 y 2022, muestran que la situación en torno al tema no ha hecho sino empeorar a lo largo de los años. Estos informes cuentan con la destacada labor de tres grupos de trabajo con decenas de científicos participando en cada uno de ellos, y que cubren varios aspectos del cambio climático: el grupo I los aspectos físicos del mismo, el grupo II los impactos, adaptación y vulnerabilidad y el grupo III, la mitigación. En cada nuevo informe las evidencias del cambio climático y sus consecuencias negativas se han fortalecido y la reflexión que salta a la vista es que deben hacerse esfuerzos para detenerlo.

La solución nos conduce irremediablemente a disminuir los gases de efecto invernadero que producimos, situación estrechamente unida a un cambio en el modelo de desarrollo que sigue actualmente nuestra sociedad, dirigido al consumismo y productor de residuos que contaminan nuestro entorno y basado en la necesidad de energía que se satisface con la ingente quema de combustibles fósiles. Por ello, la solución nos lleva a realizar una transición energética que gradualmente disminuya nuestra dependencia de ese tipo de

[1] Individuo de Numero, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.
Este trabajo se basa en una conferencia presentada en el Foro de la UCAB titulado "Una mirada a las necesidades de investigación en Ingeniería generadas por el Cambio Climático, la Transición Energética y el Desarrollo Sostenible", en el Día Mundial del Ambiente, 06/06/2022.

combustibles y los sustituya por energías amigables con el ambiente.

Si se cumplen los objetivos de alcanzar una transición energética aceptable, se estarían sentando las bases para lograr un desarrollo sostenible, modelo hacia el cual la humanidad tiene la imperiosa necesidad de avanzar si se quiere preservar nuestra casa común para nuestros descendientes.

Cambio climático

Que podemos decir del cambio climático, tema sobre el que se escriben ingentes cantidades de noticias todos los días. Siempre con novedades, cada una más amenazante que la anterior.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) que monitorea los indicadores más importantes sobre cambio climático y que cubren la atmósfera, los océanos, los sistemas hídricos, la criosfera y la biosfera, expresa en su informe de 2022, que cuatro indicadores clave del cambio climático batieron récord en 2021:

1. La concentración de GEI. El CO_2 ha subido de 280 ppm a 420 ppm, en solo 150 años. Como se observa en la Figura 1, en los últimos 800.000 años no había sobrepasado los 300 ppm.
2. La subida del nivel del mar, que entre enero 2013 y enero 2022 se ha elevado 4,5 mm/año.
3. La temperatura de los océanos, donde se almacena el 90% del calor del sistema Tierra.
4. La acidificación de los océanos que ha alcanzado niveles sin precedentes en al menos 26.000 años.

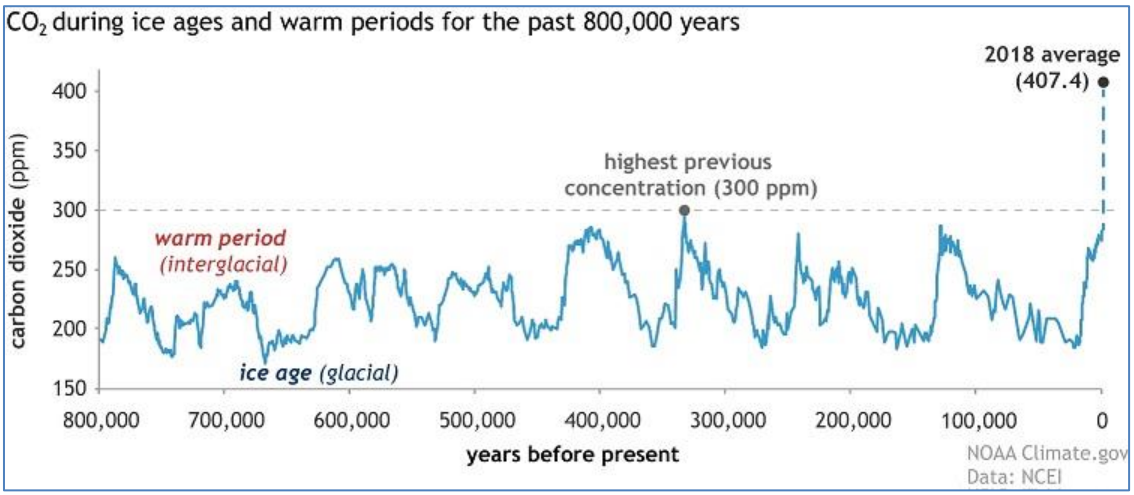

Figura 1*. Incremento de la concentración de CO2, últimos 800.000 años.*
Fuente: OMM, 2022

Todo esto, sin dejar de mencionar que:

- la temperatura promedio global estuvo 1,1ºC por encima de los niveles preindustriales,
- el contenido calórico de los océanos muestra un incremento continuado, y que este es irreversible en cientos o miles de año
- -sigue la disminución del hielo en el Antártico y el Ártico, destacándose que el ritmo del deshielo en el Ártico es tres veces más alto que el ritmo medio mundial.

Todos son ejemplos patentes de los grandes cambios que suceden a escala planetaria en la tierra, la atmósfera y el océano, cuyo origen yace en el cambio climático. Estamos ejerciendo presiones extremas sobre el planeta, cuestión confirmada por evidencias científicas robustas, y como consecuencia estamos degradando el medioambiente y sobrepasando varios de los límites planetarios, entre ellos el relativo al cambio climático.

Nuestra especie, *Homo sapiens*, se enfrenta a una emergencia planetaria, de la cual somos causa, pero al mismo tiempo dolientes. El informe de 2021 del Grupo I del IPCC concluye, que a menos que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, para finalmente lograr **emisiones netas cero,** el objetivo aprobado en la COP15 en París, de limitar el calentamiento a cerca de 1,5ºC o incluso a 2ºC, será inalcanzable en las próximas décadas.

Las proyecciones indican qué un calentamiento de 1,5ºC, producirá un incremento de las olas de calor, se alargarán las estaciones cálidas y se acortarán las frías; mientras que con un calentamiento global de 2 ºC, los episodios de calor extremo se alcanzarían con mayor frecuencia.

Pero no solo, es la temperatura en sí misma la que nos preocupa, es el efecto en cascada que dicho incremento induce en sistemas físicos, sistemas biológicos y sistemas sociales desencadenando una serie de acontecimientos críticos interrelacionados por el cambio climático, en múltiples áreas.

En primer lugar, mencionemos algunos ejemplos relevantes referidos a los sistemas físicos:

- los cambios en el patrón de la distribución estacional de las precipitaciones y que aumentan los eventos extremos afectando la magnitud y los períodos de las escorrentías, incrementando las precipitaciones y la intensidad de las mismas en algunas áreas, incidiendo en crecidas, inundaciones y deslizamiento de tierras. En áreas urbanas, el incremento de la intensidad de las lluvias sobrecarga los sistemas de drenajes convencionales inundando las alcantarillas. Por otra parte, en este mismo orden de ideas se incrementan las sequías incidiendo en la producción de alimentos.
- la reducción de los glaciares y del manto de nieve que afecta las escorrentías en los ríos y por tanto pone en peligro el abastecimiento de agua en regiones donde el deshielo de los glaciares es una fuente importante. 1/6 de la población mundial vive en cuencas fluviales alimentadas por glaciares o por el deshielo.
- la elevación del nivel del mar por la expansión del agua a medida que se calienta y la transferencia de los mantos de nieve y glaciares fundidos. Esto incide en el retroceso de la línea de la costa en muchas regiones bajas del mundo y al mismo tiempo puede provocar intrusión salina con peligro de pérdida de acuíferos, cuestión que ya pasa en ciudades como Shangai, Calcuta o Daca.
- la acidificación de los océanos por el incremento del CO_2 que en un 30% es absorbido por los océanos y al intervenir en el equilibrio del H_2CO_3 causa la disminución del pH, que desde la era industrial ha disminuido de 8,2 a 8,1 significando un incremento de la acidez del 26%. Este ritmo es 100 veces más rápido que en los últimos 55 millones de años.

Fijando ahora nuestra atención en los sistemas biológicos, un importante efecto del cambio climático tiene que ver con los cambios en los ritmos estacionales de la flora y la fauna, y vamos a mencionar algunos ejemplos:

- Alteración del desarrollo productivo de los vegetales que adelantan su época de floración y cosecha disminuyendo el rendimiento de cultivos. En las últimas décadas se ha encontrado que el maíz y el trigo tienen un rendimiento más bajo de lo que hubiera sido si no existiera el cambio climático: 3,8 % y 5,5% respectivamente.
- Algunas especies de insectos que causan daños a cultivos extienden las zonas geográficas donde viven y aparecen en nuevas regiones donde deben combatirse con pesticidas, con los efectos secundarios tan negativos conocidos.
- Así mismo, la ampliación de los límites geográficos de los hábitats de vectores de enfermedades infecciosas como el dengue y la malaria, debido al incremento de la temperatura, ha contribuido al aumento de tales enfermedades. Con lo cual, encontramos, además, un efecto importante sobre la salud.
- El adelanto de la floración y el alargamiento de la temporada de producción de polen y esporas de algunas especies vegetales por el cambio climático provoca afecciones de salud en población sensible como asmáticos y por lo tanto enfermedades respiratorias crónicas se agravan. Es otro efecto que también incide sobre la salud.

La transición energética

Existe un amplio consenso, en que la vía que tenemos por delante es atacar la raíz de todo ese cúmulo de acontecimientos negativos, que es el incremento del CO_2 y otros gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global y que son consecuencia de la quema de combustibles fósiles.

Es lo que se ha denominado la **descarbonización** de la economía, proceso progresivo de reducción de emisiones de carbono, sobre todo de dióxido de carbono, a la atmósfera, hasta lograr una economía global con bajas emisiones a través de la **transición energética,** que supone un cambio estructural a largo plazo de los sistemas energéticos y que se basa en incrementar la eficiencia energética y el uso de energías renovables**.**

En la COP26 de Glasglow, a finales de 2021, se ratificó el compromiso de lograr la neutralidad de carbón o la meta de **carbono neto cero** para 2050. Para lograr ese objetivo una herramienta principal es la andadura a través de la **transición energética** que pone el énfasis en cambiar un sistema energético con base a combustibles fósiles a uno de bajas emisiones o sin emisiones de carbono, fuertemente basado en **fuentes renovables**, las cuales se convierten en el corazón de la transición energética.

Las energías renovables son limpias al no generar o generar muy pocos GEI, además son sustentables al producirse a partir de fuentes inagotables como el sol, el viento y el agua o de fuentes renovables como la biomasa.

Algunas de estas tecnologías pueden usarse formando parte de las redes centralizadas o bien, descentralizadas (en el punto de uso, al como es el caso de zonas rurales).

El desarrollo tecnológico de diversas propuestas de energías renovables ha sido asombroso y las ha puesto a competir con las basadas en combustibles fósiles. Ya la energía hidráulica tiene una larga historia y se considera una tecnología madura, pero también la energía fotovoltaica y la eólica entran en esa clasificación y se usan en muchos países con una fuerte tendencia al incremento de su utilización. Mencionamos además la energía basada en la biomasa en sus tres facetas: biodiesel, bioetanol y biogás, la energía mareomotriz basada en las mareas y la que captura la energía del movimiento de las olas o energía undimotriz.

Debe mencionarse que entre la variedad de tecnologías de energías renovables que hemos citado existen diferentes grados de madurez tecnológica y desarrollo comercial.

En proceso de maduración están las tecnologías de remoción de CO_2 como son la Captura Directa y Almacenamiento (DACCS) y la de Biomasa con Captura y Almacenamiento (BECCS) y se le añade el uso de sumideros naturales como vegetación que tiene una larga andadura.

No podemos dejar de mencionar que esta transición energética está contando en sus etapas iniciales con el **uso del gas natural** que aun cuando es combustible fósil emite un 27% menos CO_2 que el carbón y el petróleo, así como 40% menos de NOx, y seguramente nos acompañará por unos cuantos años. También en la transición energética surgen nuevos vectores energéticos como el **hidrógeno verde**, tecnología aún en proceso de maduración, o combustibles cada vez más sostenibles como los sintéticos y los biocombustibles.

En las últimas décadas el consumo de energías renovables ha crecido consistentemente y debe enfatizarse que en una mayor proporción a la tasa de crecimiento de las energías basadas en combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas.) Esto lo podemos observar en la figura 2**,** que muestra que entre 2010 y 2019 la tasa de crecimiento de las ER aumentó desde 10% a 80%.

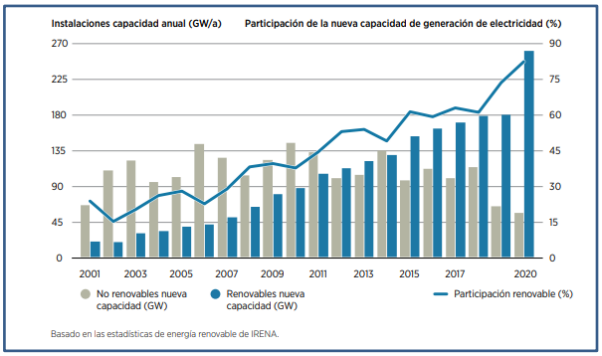

Figura 2. *tasa de crecimiento de las energías renovables entre 2010 y 2019.*

Fuente: IRENA, 2022.

También la Figura 2 nos muestra como se ha incrementado la cuota de participación de las energías renovables en las nuevas capacidades de generación de electricidad entre 2001 y 2020. Es la línea azul que muestra que no ha cesado de crecer hasta casi llegar a un 90%.

No obstante, no podemos perder de vista que los números actuales aun favorecen con creces a las energías convencionales, como no los muestra la figura 3 donde la sumatoria del consumo basado en petróleo, carbón y gas natural alcanza 84,7% del global mundial. Es un porcentaje que nos muestra, sin duda, que aún la participación de las energías fósiles es muy alta. Se estima que alcanzará un pico en una década y luego comenzará a disminuir.

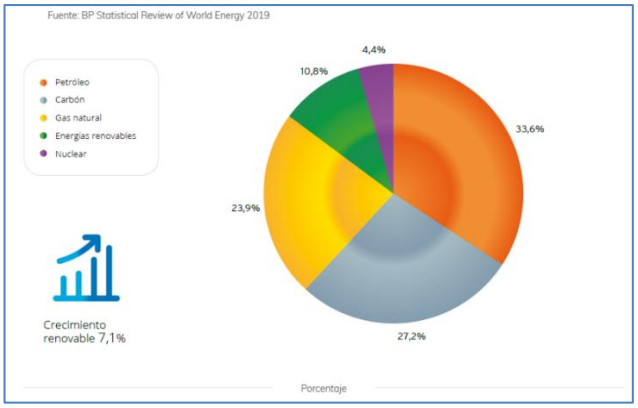

Figura 3. *Consumo mundial de energía primaria en 2018. Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2019.*

Estas cifras nos indican que estamos ante un reto gigantesco para limitar la elevación de la temperatura global a menos de 1,5 ºC sobre los niveles preindustriales. Es muy estrecha la brecha que nos queda, porque será necesario reducir las emisiones globales de dióxido de carbono en un 45% para 2030. Este número es un reto difícil pero no imposible si se toman medidas inmediatas. Recordemos que las tecnologías que ayudan a la transición energética ya existen y por supuesto que contamos con que sigue la investigación y desarrollo en otras que en poco tiempo estarán maduras para su implementación.

Deben adoptarse medidas drásticas y urgentes, más que nada a nivel de los responsables políticos, de los inversores, y de los productores y consumidores de materiales**,** actores de gran relevancia y cada uno de ellos debe interiorizar la urgencia de la transición energética. Esta tarea es ineludible.

Las energías renovables se han sobrepuesto a la desventaja del costo elevado que las acompañó en sus inicios. Actualmente tanto la energía solar como la eólica han disminuido sustancialmente sus costos. Según datos mostrados en el informe del IPCC de 2022, en la década entre 2010 y 2019 se han producido disminuciones sostenidas en los costos de la energía solar del 85% y de la energía eólica del 55%.

En la Figura 4 puede observarse los datos de la reducción interanual del promedio ponderado global de las tecnologías solar, tanto fotovoltaica como térmica, que descendieron 7% y 16% respectivamente y en el caso de las eólicas terrestre y marítima 13% y 9% respectivamente, a escala de servicios públicos puestos en servicio, entre 2019 y 2020 (IRENA, 2022). Así mismo podemos observar cómo entre 2000 y 2020 han disminuido los costos unitarios de las energías fotovoltaica y eólica terrestre hasta competir con los costos de las energías basadas en combustibles fósiles representada por la zona gris de la figura (IPCC, 2022).

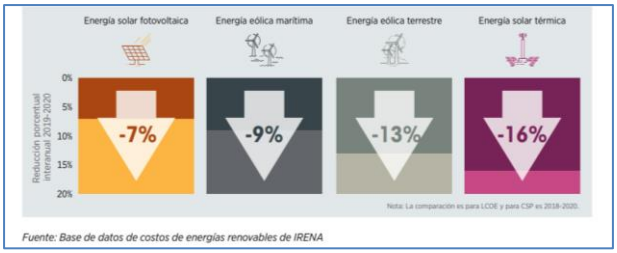

***Figura 4**. Reducción porcentual interanual 2019-2020 LCOE promedio ponderado global de tecnologías de energía* solar y eólica a *escala de servicios públicos recién puestas en servicio, 2019-2020. Fuente: IRENA 2020.*

También nos muestra la Figura 5, la reducción porcentual de los costos de varios tipos de energías renovables entre 2010 y 2019, que alcanzan valores de 82% para la fotovoltaica, de 47 % para la solar de concentración, 39% para la eólica terrestre y 29% para la eólica marina, lo que se traduce en que para 2021, los costos de diversas energías renovables expresados en USD/kWh están entre 0,039 y 0,108, valores competitivos con las energías convencionales (IRENA, 2021).

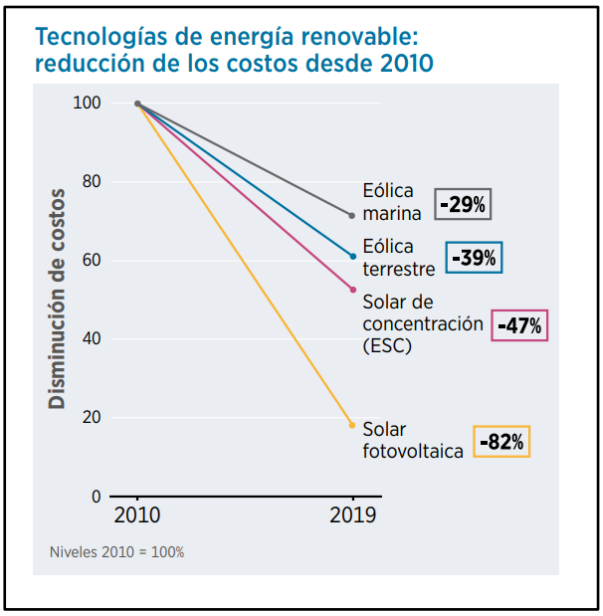

***Figura 5.** Reducción de costos de energías renovables desde 2010. %. Fuente: IRENA, 2021*

El informe de IRENA de 2021, presentado en Abu Dhabi, expresa qué en los últimos siete años, se ha añadido anualmente a la red más energía renovable que los combustibles fósiles y la energía nuclear juntos y que la nueva capacidad de generación de electricidad en el mercado mundial está dominada por las tecnologías de ER, ya que se han convertido en las fuentes de electricidad más baratas en muchos mercados. Esto nos induce a afirmar que las ER tienen un protagonismo cada vez mayor en el llamado mix energético y en la rápida descarbonización del sector energético.

También es digno de hacer notar que en 2020 la capacidad de generación añadida en todo el mundo fue un record para las ER que sumaron 260 gigavatios (GW), lo que cuadriplicaba la capacidad añadida de otras fuentes.

No se puede dejar de mencionar, puesto que es un plus, que una transición energética basada en energías renovables tiene variados beneficios adicionales a la disminución de las emisiones de GEI. Son beneficios nada desdeñables: es el caso de la mejora de la salud al reducirse la contaminación del aire con el uso de la renovables, que recordemos que en el 2019 fue responsable de 7 millones de muertes (IPCC, 2022), un número superior a las muertes ocasionadas por el COVID19. Además, la incorporación de las energías renovables genera crecimiento económico y empleos y como colofón apuntala el desarrollo sostenible. Por ello puede considerarse que es una de las respuestas más efectivas contra el cambio climático.

La clave para la transición energética es, a su vez, la electrificación alimentada por energías renovables. Ejemplos de electrificación son el cambio a coches y autobuses eléctricos y la electrificación del uso de la energía en los edificios para reemplazar a los combustibles fósiles en el consumo de la calefacción y la refrigeración. Recordemos que estos sectores son un porcentaje importante de la emisión de GEI. El transporte contribuye con un 27% y los edificios con un 32%,

Así, la electrificación de los diversos consumos se convierte en una gran aliada de la descarbonización reemplazando las fuentes fósiles por las generadas por fuentes renovables, lo que hace más limpios otros sectores como el transporte, actividades industriales y nuestras viviendas.

El sector de las industrias pesadas como el acero, aluminio, cemento y petroquímica, aún debe resolver problemas de costos para entrar en la electrificación, pero están trabajando en ello y existe bastante I+D+i en este sentido.

Enfocándonos en el caso del transporte ligero y específicamente en el auge de los automóviles eléctricos o híbridos, que no emiten CO_2 o lo disminuyen sustancialmente en el segundo caso, se debe reconocer que aún son más costosos que los convencionales, pero la tendencia es hacia la baja. También ha mejorado una de sus desventajas significantes como es la autonomía, cuestión que tiende a mejorar con el desarrollo de nuevas baterías con mayor capacidad. En el año 2021 ya existían 10 millones de vehículos eléctricos en el mundo (significaba una disminución de 50 MM ton CO_2 emitidas). En enero 2020 se estimaba que la cifra estaba en 16 millones de vehículos.

En el sector de las edificaciones el uso de electricidad renovable para los sistemas de climatización (calefacción y aire acondicionado) es uno de las acciones más recomendadas, pero también la eficiencia energética es una vía que debe implementarse. En líneas generales se recomienda limitar el carbono en todo el ciclo de vida del edificio que supone desde hacer un diseño bioclimático hasta la elección de los materiales de construcción. Entre tanto se pueden hacer cambios más ligeros como uso de bombillos ahorradores y de vidrios

fotovoltaicos y mejorar la eficiencia de los equipos electrodomésticos.

En la Figura 6 se presenta una gráfica muy reciente de la agencia internacional de energía (IEA) que muestra la evolución de las ventas de vehículos eléctricos entre 2010 y 2021, muy ilustrativa del incremento acelerado de las ventas de estos vehículos. Una noticia alentadora, al menos.

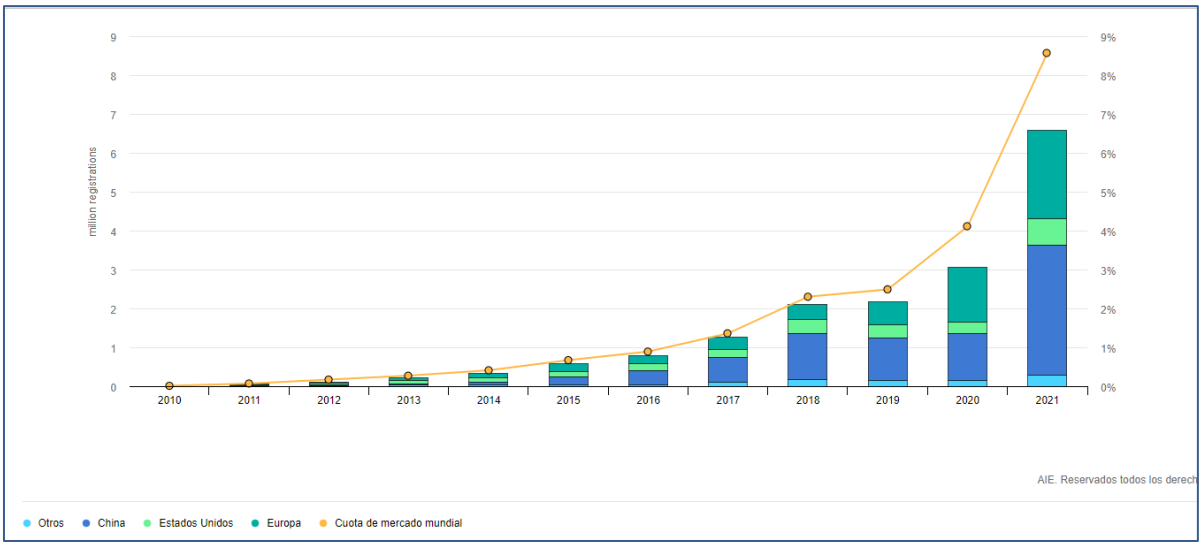

Figura 6. *Ventas globales y participación en el mercado de autos eléctricos, 2010-2021.*
Fuente: IEA, enero 2022.

Desarrollo sostenible

Ahora nos enfocamos en el desarrollo sostenible que implica un enfoque holístico en el que se integran al unísono tres objetivos de la sociedad: económicos, sociales y ambientales, con los cuales se pretende construir un mundo con un desarrollo económico que llegue a todos los habitantes del planeta sin degradar la naturaleza, involucrando a todos los seres vivientes, por ende, sin perder la biodiversidad.

Alcanzar el desarrollo sostenible se ha convertido en un paradigma y resulta que el cambio climático lo obstaculiza. Una manera de visualizar la interconexión entre los impactos del cambio climático y el desarrollo sostenible lo podemos hacer usando los Objetivos del Desarrollo Sostenible para 2030 aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015.

En las Figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13 a continuación, se presentan las siete (7) figuras centrales del reciente reporte de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) de 2021, titulado: *Indicadores climáticos y desarrollo sostenible. Las interconexiones al descubierto***,** el cual es bastante contundente mostrando como los riesgos del cambio climático repercuten de una u otra forma sobre los sistemas ambientales, sociales y económicos, o sea sobre los pilares del desarrollo sostenible.

Las figuras mostradas destacan las interconexiones más relevantes señaladas por el reporte. Si se quieren alcanzar los ODS para 2030, se debe comprender los riesgos que plantea el cambio climático de origen antrópico.

Mucho más allá del ODS 13 que es el que está directamente relacionado con la acción por el clima, en otros 12 objetivos de los 17 totales se encuentran conexiones directas con el cambio climático medido a través de los 7 indicadores utilizados por la OMM y por lo tanto existe un riesgo para el desarrollo sostenible por su causa.

Cada una de las figuras mostradas permiten observar la intrincada trama que se consigue entre los riesgos asociados a los indicadores del cambio climático y los ODS. Son una muestra más de las múltiples interrelaciones desarrolladas en cada situación entre las diversas manifestaciones del fenómeno del cambio climático.

La figura 7 permite observar los riesgos asociados al indicador incremento del CO2 atmosférico**,** que en primera instancia intensifica el efecto invernadero, que es el impulsor del cambio climático a escala global. Se observan la influencia en la seguridad alimentaria, en la contaminación del aire y la relación con la acidificación de los océanos, lo que conlleva a impactar el ODS 13 (acción sobre el clima), el ODS2 (hambre cero), el ODS3 (salud y bienestar) y el ODS14 (vida submarina).

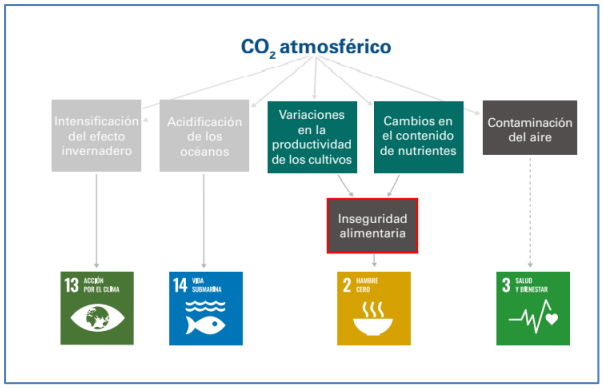

Figura 7. *Riesgos asociados al CO_2 atmosférico y vinculación con los ODS.*
Fuente: OMM, 2021.

La figura 8 muestra los vínculos con el indicador acidificación de los océanos**.** Se observa la influencia en la degradación de los servicios ecosistémicos al incidir en la formación de los corales y otros organismos que forman conchas y alterar la red alimentaria marina y los efectos sobre las sociedades humanas al influír sobre el turismo y patrimonio natural, la inseguridad alimentaria, los rendimientos pesqueros y la disminución de medios de subsistencia que pueden ocasionar conflictos. Todas estas manifestaciones están vinculadas con: ODS8 (trabajo decente y crecimiento económico), ODS11 (ciudades y comunidades sostenibles), ODS14 (vida submarina), ODS2 (hambre cero), ODS16 (paz, justicia) y ODS1 (fin de la pobreza).

Figura 8. *Riesgos asociados a l acidificación de los océanos y vinculación con los ODS.*
Fuente: OMM,2021

En la figura 6 observamos las vinculaciones con el indicador incremento de la temperatura global que al ser el desencadenante de múltiples manifestaciones climáticas muestra una trama mucho más complicada que las anteriores. Los cambios en los patrones de las precipitaciones que inducen inundaciones y sequías, y la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, las olas de calor, el refuerzo del ciclo de retroalimentación positiva que influye en el deshielo del permafrost, son amenazas para los sistemas humanos y ecológicos con consecuencias negativas sobre: los rendimientos agrícolas y pesqueros, las infraestructuras construidas, la biodiversidad, la disponibilidad de agua, la salud por el incremento de transmisión de enfermedades metaxénicas. Todas son expresiones diversas del calentamiento global y que como muestra la figura están vinculadas con 13 de los ODS: vida submarina, ecosistemas terrestres, salud y bienestar, hambre cero, paz, agua limpia y saneamiento, fin de la pobreza, reducción de las desigualdades, trabajo, energía asequible, industrias, innovación e infraestructura, ciudades y comunidades sostenibles y acción por el clima.

Figura 9. *Riesgos asociados al incremento de la temperatura global en superficie y vinculación con los ODS.*
Fuente: OMM, 2021.

Entrando en la Figura 10, observamos en primer lugar las vinculaciones entre los ODS y el indicador aumento del contenido calorífico de los océanos que constituye un indicador fundamental del estado del clima por el importante impacto que tiene sobre las pautas meteorológicas, la composición atmosférica y la salud de los ecosistemas, planteando, por lo tanto, una serie de riesgos para el desarrollo sostenible. Resumiendo, los principales efectos climáticos incluyen la expansión térmica responsable de entre 30 y 50% del incremento del nivel del mar en el siglo XX, olas de calor marinas, derretimiento de la capa de hielo y del hielo marino, desoxigenación de los océanos, fusión de los hidratos de metano y reducción de la capacidad del océano para almacenar CO_2 atmosférico produciendo un ciclo de retroalimentación positiva. Todo ello impacta negativamente a ocho ODS. A saber: ODS13 (acción sobre clima), ODS3 (salud y bienestar), ODS14 (vida submarina), ODS 2 (hambre cero), ODS 16 (paz y justicia), ODS 1(fin de la pobreza), ODS8 (trabajo decente), ODS11 (ciudades y comunidades sostenibles).

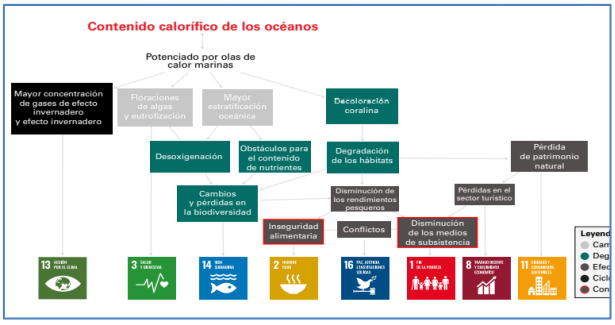

Figura 10. *Riesgos asociados al aumento del contenido calorífico de los océanos y vinculación con los ODS*
Fuente: OMM, 2021

En la figura 11 se observan los riesgos asociados al indicador disminución de la extensión del hielo marino, un indicador eficaz del cambio climático. La disminución del hielo plantea

una serie de riesgos para la consecución de los ODS, algunos globales como resultado de la retroalimentación hielo-albedo. Así mismo impacta los recursos marinos, ecosistemas y cadenas alimentarias, incidiendo en la vida terrestre y acuática. La posibilidad de nuevas rutas para el transporte agravará la contaminación. Como resultado existen riesgos para alcanzar el desarrollo sostenible que se manifiestan en los vínculos con 7 de los ODS: el ODS 13 (acción por el clima), ODS1 (fin pobreza), ODS 2 (hambre cero), ODS 15 (vida ecosistemas terrestres), ODS 14(vida submarina), ODS6 (agua limpia y saneamiento) y ODS 16 (paz y justicia)

Figura 11. *Riesgos asociados a l disminución de la extensión del hielo marino y vinculación con los ODS.*

Fuente: OMM, 2021

En la figura 12 se observan los riesgos asociados al indicador disminución del balance de masas de los glaciares**.** El incremento de las temperaturas derrite a los glaciares y al tiempo contribuye a la elevación del nivel del mar. Los glaciares proporcionan servicios ecosistémicos al suministrar agua dulce a millones de personas durante la época del deshielo. Por otra parte, la fusión de agua acaba en los océanos y altera la circulación termohalina actual y en consecuencia las pautas meteorológicas mundiales. El retroceso de los glaciares amenaza los hábitats y ecosistemas terrestres de sus zonas de influencia. Se plantean riesgos de inundación y consecuentemente cambios en la estabilidad de las laderas y posibles deslizamientos de tierra y lodos.

Todos estos cambios confluyen en riesgos para alcanzar varios de los objetivos del desarrollo sostenible: ODS 13(acción por el clima), ODS15 (vida ecosistemas terrestres, ODS7 (energía asequible y no contaminante), ODS6(agua limpia y saneamiento), ODS1(fin pobreza), ODS2(hambre cero), ODS9(Industria, innovación, infraestructura), ODS11(ciudades y comunidades sostenibles), ODS8(Trabajo).

Figura 12. *Riesgos asociados a la disminución del balance de masas de los glaciares y vinculación con los ODS*

Fuente: OMM, 2021.

En la figura 13 se observan los riesgos que enfrenta el desarrollo sostenible asociados al indicador incremento del nivel del mar**.** Agrava los peligros costeros, donde viven millones de personas, incluyendo entre otros aspectos negativos, incremento previsto de la intensidad de ciclones tropicales y las precipitaciones asociadas y por ende de la erosión costera, inundaciones de humedales costeros, daño en las infraestructuras situadas en la línea costera, intrusión de agua salina en aguas subterráneas, lo que pone en peligro abastecimiento de agua potable e influye en seguridad alimentaria y en el incremento de los desplazamientos de la población.

Estos riesgos influyen en la posibilidad de alcanzar los ODS referidos a: ODS1 (fin pobreza), ODS8 (trabajo), ODS10 (reducción desigualdades), ODS11(ciudades y comunidades sostenible), ODS9 (Industria, innovación e infraestructuras), ODS16 (paz), ODS6 (agua y saneamiento), ODS3 (salud y bienestar), ODS2 (hambre cero), ODS14 (vida submarina) y ODS15 (ecosistemas terrestres).

Figura 13. *Riesgos asociados al incremento del nivel del mar y vinculación con los ODS.*

Fuente: OMM, 2021.

Estas siete figuras mostradas son una buena forma de observar como un objetivo global de tanta relevancia para la humanidad como es alcanzar el desarrollo sostenible se ve obstaculizado por el cambio climático que agudiza las desigualdades y conflictos y amenaza la satisfacción de las necesidades básicas, como la alimentación, el agua, la salud, la vivienda y la seguridad económica.

Reflexiones finales

La humanidad está enfrentada a una emergencia climática y todos los habitantes del planeta, **incluyendo con especial énfasis a los tomadores de decisiones,** debemos tomar conciencia de esa realidad y cambiar de actitud y conducta en pro de ralentizar la elevación de la temperatura.

Es perentorio tomar medidas para descarbonizar el modelo de desarrollo atado a los combustibles fósiles y que es el principal detonante del cambio climático, todo en pro de alcanzar el desarrollo sostenible.

Bibliografía

1. BP Statistical Review of World Energy 2019. https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-en-el-mundo-y-en-europa/
2. IPCC. 2018. Resumen para responsables de políticas. En: Reporte especial Calentamiento global de 1,5ºC. Editado por Unidad de apoyo técnico del Grupo de Trabajo I (Masson-Delmotte V. et al). http:/www.ipcc.ch/sr15/
3. IPCC. 2022. AR6. WG II Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. WG II. Summary for Policymakers. Cambridge University Press.
https://www.unep.org/es/resources/informe/sexto-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022.
4. IPCC. The Lancet Planetary Health, mayo 2022
5. IRENA, 2020. Renewable power generation costs in 2019. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019.
6. IRENA, 2021.Costos de Generación de Energías Renovables en 2020. Resumen Ejecutivo. https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-2020-Summary-ES.
7. OMM. 2021. Indicadores climáticos y desarrollo sostenible. Las interconexiones al descubierto. Documento 1271 de la OMM. https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=21961#.YpiXsChByUk.
8. ONU. Noticias United Nations Climate Change. Comunicado de prensa 14 de marzo 2022.