

Cambio climático y uso de energías alternativas: análisis, reflexiones y propuesta

Climate change and use of alternative energies: analysis, reflections and proposal

Jesús Erazo ¹

Pablo Sulbarán ²

Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres, Mérida, Venezuela^{1,2}

jerazo@cenditel.gob.ve¹

psulbaran@cenditel.gob.ve²

Fecha de recepción: 13/10/2022

Fecha de aceptación: 25/10/2022

Pág: 79 – 104

Resumen

La evidencia científica indica que el planeta está experimentando un nuevo cambio del clima caracterizado por un progresivo calentamiento global impulsado por la actividad industrial. La explotación intensa y sin control de los recursos naturales, la globalización tecnológica, el uso de fuentes de energía fósiles ineficientes y altamente contaminantes junto con la indiferencia de la población han sido factores determinantes en el impulso del cambio climático, constatable a través de fenómenos meteorológicos extremos más intensos y frecuentes. En tal sentido, se hace impostergable cambiar los sistemas de producción y los patrones de consumo, también es fundamental la reflexión permanente sobre cómo desarrollar tecnologías realmente limpias y en sincronía con la naturaleza. En este marco de referencia, este ensayo analiza la ambivalencia de un abanico de innovaciones tecnológicas propuestas para ralentizar el impacto del cambio climático y sus efectos a futuro. Las fuentes de energía alternativas se enfrentan a un conjunto de retos que requieren la mayor cantidad de participación de la población mundial, para así superar uno de los retos naturales más amenazante a la vida en todas sus expresiones. El éxito de la mitigación de la descarbonización de la Tierra se encuentra esencialmente en la educación y la ciencia abierta, en primer lugar para formar un ciudadano consciente y responsable de su entorno natural y en segundo lugar para encontrar la manera de lograr un desarrollo de la humanidad de forma sustentable.



Esta obra está bajo licencia CC BY-NC-SA 4.0.

Palabras clave: cambio climático, clima, conocimiento libre, energía, tecnologías alternativas.

Abstract

Scientific evidence indicates that the planet is experiencing a new climate change characterized by progressive global warming driven by industrial activity. The intense and uncontrolled exploitation of natural resources, technological globalization, the use of inefficient and highly polluting fossil energy sources along with the indifference of the population have been determining factors in the boost of climate change, that can be seen through more frequent extreme weather events.. In this regard, changing production systems and consumption patterns cannot be postponed. Permanent reflection on how to develop truly clean technologies in sync with nature is also essential. In this frame of reference, this essay analyzes the ambivalence of a range of technological innovations proposed to attenuate the impact of climate change and its future effects. Alternative energy sources face a set of challenges that require the greatest amount of participation of the world's population in order to overcome one of the natural challenges that threatens life in all its expressions. The success of mitigating the decarbonization of the Earth lies essentially in education and open science, first of all to form a responsible citizen of their natural environment and second place to find a way to achieve a sustainable development of humanity, in sustainable way.

Key words: climate change, climate, free knowledge, energy, alternative technologies.

Introducción

La energía es un término que en física no es de tan fácil definición, sin embargo, se acepta intuitivamente como toda causa capaz de producir alteraciones físicas y/o químicas en un sistema, desde cambios en su temperatura hasta su transmutación atómica. Más allá de su interpretación, está su importancia en el funcionamiento del universo. En la Tierra, además de ser un elemento clave en la actividad celular, se le ha asignado el rol como recurso natural con valor económico para su uso doméstico e industrial.

En efecto, la biosfera, la cadena trófica, el clima, la industrialización, la mecanización del campo, los modos de transporte, la electrificación e iluminación, la refrigeración, la calefacción y las comunicaciones digitales dependen de la energía en sus diferentes manifestaciones. La transformación, almacenamiento y transmisión de la misma son factores claves en la naturaleza y la industria, las interrupciones o alteraciones en uno de estos eslabones pueden llevar al

colapso de sistemas de tipo biológicos como los ecosistemas, igualmente aquellos de tipo físico como el climático, indudablemente también los de tipo tecnológico tal como líneas de producción, redes eléctricas e incluso de telecomunicación.

Ahora bien, todas las expresiones de vida e incluso las diferentes actividades humanas dependen en definitiva de la relación balanceada entre el clima y la energía en sus diferentes tipos: electromagnética, térmica, química, entre otras. En efecto, el flujo energético equilibrado a través de la atmósfera, los océanos y continentes condiciona la existencia de los diferentes patrones climáticos que favorecen o regulan la aparición de las diferentes especies de animales y plantas.

Por inverosímil que parezca, el ser humano con conciencia o sin ella ha alterado el balance de energía del sistema Tierra. La causa de este despropósito se encuentra en el tipo de fuente de energía utilizada: los combustibles fósiles. El consumo desmedido de este tipo de recurso no ha permitido el equilibrio energético del planeta porque en la ecuación ha aparecido la emisión de dióxido de carbono junto con otros gases tóxicos de origen industrial, que por sus propiedades físico-químicas promueven el aumento de la energía térmica de la atmósfera haciendo más efectivo el efecto invernadero, fenómeno natural de calentamiento planetario que en principio es benéfico para el desarrollo de la vida, pero con el incremento en su intensidad enciende las alarmas para la existencia humana y de la biodiversidad.

La comunidad científica está de acuerdo con que la progresiva elevación de la temperatura promedio global está enfilando a la Tierra hacia un nuevo cambio del clima con origen antropogénico. Inundaciones, altas temperaturas, heladas, extinción de especies, tormentas devastadoras, frecuentes incendios forestales, aparición de bacterias resistentes y virus más mortales, son probablemente las características más expresivas del cambio climático, resultado de un aupado hábito de consumo desenfrenado y también de un mal enfoque industrial de la ciencia, el conocimiento y la tecnología que alimenta un modelo de desarrollo económico y tecnológico destructivo, que en última instancia solo satisface a ciertas élites.

Se entiende que el uso y desarrollo de tecnología es necesario, pero también es necesario estar consciente de que la misma no debe crear más problemas ni ser privilegiada para un sector. Es fundamental la reflexión permanente sobre cuál es la tecnología necesaria para nuestro planeta Tierra, mas allá de buscar la rentabilidad económica, debe predominar la conciencia de la preservación de la vida en el planeta.

Hoy en día, existe un prometedor abanico de propuestas tecnológicas en el campo de la generación de energía que se presentan como una alternativa a las fuentes tradicionales como el petróleo, el carbón y el gas, entre las cuales están la fotoeléctrica, eoloeléctrica, hidroeléctrica, geotérmica, nucleoelectrica, la biomasa, las baterías de ión litio, entre otras. Sin embargo, ¿es factible su desarrollo? y lo más importante ¿puede realmente ayudar a descarbonizar la

naturaleza? La respuesta no es totalmente afirmativa, aspectos técnicos y financieros pueden frenar su avance, además requiere de la extracción de minerales y metales junto con procesos de producción que dejan huella de carbono, representando todo este conjunto de hechos una encrucijada por superar.

Por lo tanto, el avance de la ciencia en el campo de las energías alternativas va a ser un factor clave para encontrar y diseñar nuevos mecanismos, técnicas o materiales que permitan desarrollar tecnologías verdaderamente limpias. Todo esto es posible si el nuevo conocimiento y los recursos tecnológicos son accesibles a toda la humanidad, es decir, la ciencia que se desarrolle para tal propósito debe ser abierta.

La necesidad de atenuar el cambio climático y superar la encrucijada de las tecnologías alternativas sirve como fundamento para el presente ensayo. En tal sentido, para entrar en contexto, se ofrece una visión sobre el clima y cambio climático, seguidamente se presenta un conjunto de tecnologías propuestas para la generación de energía que buscan cumplir dos finalidades: disminuir las emisiones de dióxido de carbono y contribuir con la ralentización del cambio climático. Posteriormente, se realiza una reflexión general y necesaria sobre las dos caras de la moneda de las tecnologías citadas y se hace especial reconocimiento a la importancia del conocimiento y tecnologías libres para dar solución y vencer los escollos de las emergentes fuentes de energía y aún más importante para superar uno de los retos naturales más trascendentales de la existencia en el planeta.

Cambio climático

Por convenio, la media aritmética de las medidas registradas día a día de las variables atmosféricas: temperatura, presión, humedad, nubosidad, radiación solar, velocidad y dirección del viento y la cantidad e intensidad de la precipitación, en una región geográfica específica en un intervalo de tiempo estándar de 30 años definen el clima de ese lugar. Dicho de otra manera, el promedio de los valores meteorológicos diarios ofrece información sobre la estabilidad o fluctuaciones típicas de su comportamiento anual o a largo plazo en cierta localidad del planeta (Barry y Chorley, 1999; Coleman y Law, 2015).

Por otro lado, el clima es un elemento clave en la evolución, distribución, existencia y supervivencia de la biodiversidad en los diferentes tipos de ecosistemas, a su vez estos contribuyen a la regulación del mismo en lo que respecta a las precipitaciones, disponibilidad de agua, la calidad de aire, secuestro y almacenamiento de carbono, prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2022). Además, la predicción climática es fundamental para la agricultura, pesca, gestión de riesgos ante sequías e inundaciones e incluso la administración y gestión de las fuentes de energía utilizadas por la humanidad.

Aunque tienden a solaparse las definiciones de tiempo atmosférico y clima, existe una diferencia fundamental entre ambas: el tiempo de medida y registro de los parámetros meteorológicos. El primer concepto se relaciona con las variaciones atmosféricas que ocurren en tiempo presente durante el día, cuyo pronóstico puede resultar incierto. Mientras que la segunda acepción corresponde, como se mencionó anteriormente, al comportamiento o patrón registrado de las mismas y sobre las cuales se podría predecir su tendencia a futuro.

En particular, los cambios en la cantidad de la radiación solar durante el día en un determinado sitio, afectan los valores de temperatura, presión barométrica y el movimiento de las masas, condicionando así el tiempo atmosférico de esa localidad. Ahora bien, ¿es posible que cambie el clima en cierta región geográfica o a nivel global? La respuesta es afirmativa, de hecho ha ocurrido en las diferentes etapas en que se ha dividido la historia del planeta y se ha caracterizado por un proceso en el que se distinguen ciertos elementos: escala de tiempo de evolución muy grande, marcados períodos gélidos intercalados con derretimiento glaciar y fuerzas de la naturaleza como impulsoras de la alteración del clima.

Causas naturales que han cambiado el clima en la Tierra

Se han propuestos diez eventos o elementos naturales que podrían inducir un cambio climático y que posiblemente pueden explicar su variación en el pasado (Lee, 2020):

- Ciclos solares

Grandes mínimos solares, caracterizados por períodos de décadas de actividad solar reducida y menor cantidad de energía radiante recibida, se han producido 25 veces en los últimos 11.000 años, disminuyendo la temperatura del planeta entre 0,1 a 0,3 °C en periodos de enfriamientos a intervalos de 30 a 160 años separados por siglos.

- Azufre volcánico

Erupciones volcánicas violentas que alcanzan e inyectan azufre o ácido sulfúrico reflectante en la estratosfera, ocultando parcialmente la luz solar, contribuyendo al aumento de la cantidad de hielo marino que a su vez incrementa la reflexión de la radiación incidente de regreso al espacio, haciendo mayor y duradero el efecto de la disminución de la temperatura a nivel global entre 0,6 a 2 °C durante 1 a 20 años.

- Fluctuaciones climáticas a corto plazo

Ciclos naturales o patrones climáticos de corto plazo que afectan las precipitaciones y la temperatura, por ejemplo, el fenómeno El Niño que afectan la circulación en el Océano Pacífico tropical en un período de tiempo de dos a siete años produciendo lluvias intensas y torrenciales en América del Norte y variaciones de la temperatura de hasta 0,15 grados centígrados.

- Oscilaciones orbitales

En su movimiento orbital, la Tierra experimenta cambios cíclicos en su excentricidad, en la dirección y en el ángulo de inclinación de su eje de rotación con respecto al plano orbital, este comportamiento celeste se denomina ciclos de Milankovitch. El fenómeno descrito hace que la cantidad de luz del sol varíe en latitudes medias hasta en un 25 %, ocasionando oscilaciones en el clima y que el planeta entrara y saliera de glaciaciones. Estos ciclos han operado a intervalos de regulares superpuestos de 23 000, 41 000, 100 000, 405 000 y 2 400 000 años. En el último ciclo de 100.000 años, la magnitud de la temperatura tuvo una variación aproximada de 6 °C.

- Sol joven tenue

Existe una paradoja entre el clima primitivo inesperadamente cálido de la Tierra y el esperado congelamiento de la misma durante la primera mitad de su existencia debido a la debilidad del sol primigenio. Probablemente se zanje la contradicción por alguna combinación de cielos más despejados, días más cortos y una composición atmosférica singular antes de que el planeta tuviera una atmósfera rica en oxígeno. En tal sentido, un sol débil no es responsable de un cambio neto de temperatura en el planeta ni de producir cambio climático.

- Dióxido de carbono y el termostato de intemperie

El nivel de dióxido de carbono en la atmósfera controla el clima de la Tierra, ya que es un gas de efecto invernadero que restringe la radiación infrarroja que intenta escaparse del planeta. Por un lado, el dióxido de carbono es emitido hacia la atmósfera a través de las erupciones volcánicas, las rocas metamórficas y la oxidación del carbono en los sedimentos erosionados. Por otro lado, las reacciones químicas del mismo con los minerales de silicato lo eliminan y transforman en piedra caliza. Este equilibrio representa un termostato natural en el siguiente sentido: al aumentar la temperatura del planeta, el proceso químico se hace más eficiente para eliminar el dióxido de carbono, disminuyendo el calentamiento. Al contrario, cuando disminuye la temperatura, las reacciones son

menos eficientes, contribuyendo al enfriamiento. Sin embargo, este proceso de equilibrio físico químico lleva mucho tiempo, escalas de miles de años.

- Placas tectónicas

La reorganización de las placas en la corteza terrestre puede cambiar, pero muy lentamente el termostato de meteorización a una nueva configuración, aproximadamente 30 °C en los últimos 500 millones de años. A medida que las colisiones de placas tectónicas expulsan el basalto y la ceniza volcánica en las regiones cálidas y húmedas, aumenta la velocidad de las reacciones químicas que extraen dióxido de carbono de la atmósfera, de tal modo que la Tierra se ha ido enfriando durante los últimos 50 millones de años. En particular, en los últimos 20 millones de años, la orogénesis de las cadenas montañosas conocidas como Himalaya, los Andes y los Alpes ha duplicado las tasas de erosión con el aumento de la meteorización y acelerando el enfriamiento.

- Impactos de asteroides

El impacto del asteroide Chicxulub hace 66 millones de años en la península de Yucatán México, vaporizó parte del país y extinguió a los dinosaurios. Lanzó suficiente polvo y azufre a la atmósfera superior que oscureció y enfrió al planeta en más de 20 °C a su vez que acidificó a los océanos, produciendo un efecto perceptible en el clima. La Tierra demoró siglos en registrar la temperatura anterior al impacto debido al dióxido de carbono en la atmósfera de la piedra caliza vaporizada.

- Cambios evolutivos

La evolución de cianobacterias fotosintéticas contribuye al termostato de la Tierra. Los nuevos tipos de vida celulares que surgieron hace unos 3 mil millones de años, contribuyeron por una parte al aumento del oxígeno en la atmósfera disminuyendo los niveles de metano y dióxido de carbono, por otra parte, depositaron el carbono de la atmósfera en el fondo de los océanos.

- Grandes provincias ígneas

Eventos ígneos como expulsiones de grandes volúmenes de lava y magma a la superficie continental llamadas grandes provincias ígneas provocaban por un lado lluvia ácida, contaminación por mercurio y destrucción de la capa de ozono, por el otro lado,

calentaban el planeta al emitir enormes cantidades de metano y dióxido de carbono a la atmósfera tan de prisa que no permitía el equilibrio del termostato de intemperie, aumentando la temperatura del planeta alrededor de 3 a 9 °C.

En resumidas cuentas, hasta los momentos se ha presentado un marco referencial que comprende todo un conjunto de circunstancias o posibles causas naturales que han devenido en la variación del clima de la Tierra a través del tiempo, en una suerte de alternancia de eras del hielo y fases de calentamiento. Un elemento clave presente en todo este proceso es el compuesto químico dióxido de carbono (CO_2) debido a su propiedad de almacenar energía en forma de radiación infrarroja.

En efecto, de acuerdo con Arias et al. (2021) las reconstrucciones del clima en el pasado relacionan las concentraciones atmosféricas de CO_2 y la temperatura global de la superficie de acuerdo con los resultados indirectos encontrados en una diversidad de registros en múltiples escalas de tiempo a través de muestras de núcleos de hielo glaciar, rocas y anillos de árboles fosilizados.

Un cambio climático en marcha que se vincula con el ser humano

En la actualidad existe evidencia obtenida a partir de registros de observación en el transcurso de varios años a través de satélites e instrumentos de última generación, de que la Tierra está experimentando una tendencia hacia el aumento de las temperaturas promedio a nivel global, es decir, se están calentando sus océanos y continentes, debido al aumento de las concentraciones no naturales de CO_2 emitido en las diferentes actividades humanas vinculadas con la combustión de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural.

Resulta estadísticamente probable que la causa de la afectación de la superficie y atmósfera terrestre es antropogénico, en otras palabras, el ser humano está contribuyendo a que suceda. De hecho, se ha vuelto común referirse a los cambios antropogénicos en el clima, la tierra, los océanos y la biosfera de la Tierra, es de tal magnitud que da origen al concepto de una nueva época geológica definida por la acción de los humanos, el Antropoceno (Eyring et al., 2021; Zalasiewicz et al., 2011).

En efecto, existe un conjunto de sucesos o fenómenos que dan cuenta del calentamiento global y que no puede explicarse por un cambio natural del clima en la Tierra sino que están enlazados por la emisión de CO_2 originado desde el inicio de la era industrial (NASA Earth Science Division, 2022):

- La temperatura global está aumentando

La temperatura promedio de la superficie del planeta ha aumentado aproximadamente 1 °C desde fines del siglo XIX, un cambio impulsado en gran medida por el aumento de las emisiones de CO_2 a la atmósfera y otras actividades humanas. En las últimas cuatro décadas se ha producido el mayor calentamiento, en particular, los siete años más recientes han resultado ser los más cálidos.

- El océano se está calentando

El océano ha absorbido gran parte de este aumento de calor, y los 100 metros superiores del océano muestran un calentamiento de más de 0,33 °C desde 1969.

- Las capas de hielo se están reduciendo

Han disminuido las masas de los hielos de la Antártida y Groenlandia, esta última perdió un promedio de 279 mil millones de toneladas de hielo por año entre 1993 y 2019, mientras que la Antártida perdió alrededor de 148 mil millones de toneladas de hielo por año.

- Los glaciares están desapareciendo

Es un hecho visible que los glaciares se están retirando en casi todas partes del mundo, incluidos los Alpes, el Himalaya, los Andes, las Montañas Rocosas, Alaska y África.

- La capa de nieve está disminuyendo

A través de datos satelitales se ha determinado que la cantidad de nieve primaveral en el hemisferio norte ha disminuido en las últimas cinco décadas y la nieve se está derritiendo antes.

- El nivel del mar está aumentando

El nivel global del mar subió unos 20 centímetros en el último siglo y peor aún, la tasa en las últimas dos décadas es casi el doble que la del siglo pasado y se acelera ligeramente cada año.

- El hielo marino del Ártico está disminuyendo

La extensión y espesor del hielo marino del Ártico han disminuido en las últimas décadas.

- Los eventos extremos están aumentando en frecuencia
- La acidificación de los océanos está aumentando

Desde el comienzo de la Revolución Industrial, la acidez de las aguas superficiales del océano ha aumentado aproximadamente un 30%. El aumento de CO_2 en la atmósfera debido a la actividad humana, ha hecho que el océano absorba más, entre 7200 y 10 800 millones de toneladas métricas al año.

El peligro latente del calentamiento global

Todo el conjunto de eventos expuestos ha llevado a la comunidad científica a declarar que la Tierra está experimentando un marcado cambio climático caracterizado por el aumento de los valores promedios de la temperatura global, cuyas consecuencias son palpables a través de sequías, desertificación, inundaciones, olas de calor inusuales, continuos incendios forestales, aumento en la cantidad e intensidad de tornados, cambios de temperatura bruscos, precipitaciones y nevadas pocos frecuentes o repentinas e intensas. Por tanto, se está en presencia de un conjunto de elementos vivenciales que encienden las alarmas sobre el futuro de todas las formas de vida y la manera como se habita el planeta debido a la tendencia de calentamiento a largo plazo (Greene y Jacobs, 2022).

Desde el suministro del agua hasta las fuentes de energía, transitando por la calidad de la prestación del servicio eléctrico e incluso el incremento considerable de su tarifa, adicionalmente el estilo de comer, vestir, calzar, divertimento y el uso de cosméticos, el lugar de residencia, comercio y economía, el bienestar psico-social, la salud de la piel, la calidad del aire, muerte prematura y el incremento de determinados tipos de cáncer, el hábitat e incluso la paz mundial, están condicionados por el cambio climático. Los sectores salud, agricultura y energía se encuentran en estado de alerta latente por el incremento desmesurado del CO_2 antropogénico.

Por tanto, la humanidad debe comprender que está por enfrentar un reto ambiental sin precedentes en la historia del Homo sapiens-sapiens. En tal sentido, se hace necesario conocer la base científica del cambio climático para poder actuar al respecto, por tanto, existen dos elementos claves para superar el desafío de un planeta menos caliente, uno de ellos es la reflexión sobre los estilos de producción y consumo, el otro es la ciencia.

La descarbonización del planeta: una camino posible

El carbono es un elemento químico común de los combustibles fósiles como el petróleo y sus derivados, el gas natural y el carbón. La combustión de estos hidrocarburos libera a la atmosfera tanto de gases contaminantes como gases de efecto invernadero, entre los cuales se encuentra el CO_2 , causante principal del calentamiento global. En ese sentido, se conoce como descarbonización al proceso mediante el cual se pretende reducir a cero las emisiones asociadas a la combustión de aquellos compuestos de carbono en centrales eléctricas, industria pesada y en los diferentes modos de transporte (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

El proceso de una descarbonización óptima o la ralentización del calentamiento del planeta se encuentra en soluciones obtenidas a partir de la ciencia, contribuyendo así a la resiliencia al impacto del cambio climático. Desde la comunidad académica y científica se establece un conjunto de áreas que se deben abordar en un esfuerzo para neutralizar o reducir a niveles aceptables el fenómeno del incremento de las temperaturas promedios globales (Smith, 2021):

- Modelado climático

Es imprescindible desarrollar modelos que simulen el sistema climático de la Tierra.

- Ciclo del carbono

Se necesita comprender hasta que punto las plantas y el océano que actúan como sumideros naturales de CO_2 continuarán con esa función, ya que ellos mismos se ven afectados por el cambio climático.

- Tecnología digital

Se debe dar impulso al desarrollo de gemelos digitales que simulen y optimicen múltiples sectores de la economía para reducir significativamente las emisiones de carbono.

- Baterías

Es preciso avanzar hacia una nueva generación de tecnologías de baterías de iones de litio que ofrezcan un menor tiempo de carga y un intervalo de uso mayor, además de costos más bajos que permitan descarbonizar la red eléctrica y el transporte.

- Calefacción y refrigeración

Dentro de los desarrollos esenciales para descarbonizar se encuentra en alcanzar avances en el diseño de las bombas de calor más eficientes energéticamente, sostenibles y que disminuyan las emisiones de CO_2 , además el despliegue más amplio del hidrógeno y los métodos novedosos para transportar y convertir la energía térmica.

- Hidrógeno

Es necesario investigación y desarrollo en el uso del hidrógeno en el transporte, la energía y el almacenamiento. Además, ampliar su campo de acción en aplicaciones industriales y convencionales como refinerías, manufacturas y farmacéuticas. Adicionalmente, el amoniaco, derivado del hidrógeno, puede utilizarse en el transporte marítimo.

- Captura y almacenamiento de carbono (CCS)

Se requiere un enfoque que acelere el progreso en la reducción de costos y la ampliación de las tecnologías CCS.

- Resiliencia climática

Se debe invertir en resiliencia climática, particularmente a través de mejores pronósticos, infraestructura resistente al clima y soluciones basadas en la naturaleza.

- El uso de la tierra y el sistema alimentario mundial

Es obligatorio emprender proyectos que previenen la degradación de bosques, praderas, turberas y otros ecosistemas. Además fomentar dietas más sostenibles, agricultura climáticamente inteligente e innovaciones en la ciencia de las plantas.

- Salud

Abordar soluciones basadas en la naturaleza que permitan la mitigación y la adaptación en beneficio de la salud física y mental.

- Política y economía

Promover incentivos a largo plazo para la reducción de emisiones, que también pueden respaldar los empleos, el bienestar y el mundo vivo.

En resumen, se presenta una posible hoja de ruta para hacer frente a las consecuencias del cambio climático a partir del uso de fuentes de energía alternativa, tecnologías de frontera, informática, cambios en el estilo de vida y acción gubernamental.

Ahora bien, es necesario detenerse un momento en un punto específico de la propuesta. Un elemento presente y que destaca es el uso de las tecnologías digitales, en efecto, en el modelado computacional del cambio climático, se hace necesario desarrollar algoritmos de Inteligencia Artificial (IA) que mejoren a los tradicionales modelos dinámicos y estadísticos, en lo que respecta a la dinámica atmosférica y su predictibilidad, en especial para la detección y atribución de extremos climáticos al calentamiento global, brindando así una oportunidad para enfrentar anticipadamente los riesgos de inundaciones, sequías, incendios, tormentas, entre otros eventos meteorológicos extremos. No obstante el poder de cómputo requerido es altísimo, de tal modo que para su desarrollo es fundamental el concurso internacional de centros de investigación y computación en paralelo.

Del mismo modo, la IA es un componente elemental junto con otras tecnologías emergentes como el Internet de las cosas (IdC) en el desarrollo de los gemelos digitales, éstos corresponden a entornos virtuales que replican múltiples procesos de un sistema físico con la finalidad de estudiar rendimiento e implementar mejoras. El uso de esta herramienta digital, favorece el diseño de procesos industriales más eficientes, de mayor utilidad y con los materiales adecuados, representando así un modo para reducir las emisiones de CO_2 a la atmósfera. Sin embargo, este tipo de desarrollo tecnológico encuentra una limitación en la enorme inversión que amerita, de allí que hoy en día esté bajo el dominio de unas pocas corporaciones. Se debe realizar un esfuerzo político y económico enorme para hacer accesible la misma a la mayoría de las instituciones e industrias que la requieran en sus procesos.

Por otro lado, las baterías de litio resultan una propuesta tecnológica novedosa que forma parte de un conjunto de fuentes de energías alternativas que se postulan para superar el reto del cambio climático y la protección del medio ambiente, sin embargo, antes de dar el primer paso sobre su aceptación total, es conveniente revisar cuáles son los retos medioambientales para el desarrollo de la tecnología.

Fuentes de energías alternativas

La vida necesita energía, el ser humano precisa de la energía de los alimentos para mantenerse con vida. También se requiere energía en la producción industrial de cultivos

y animales, en los procesos manufactureros, en la extracción de los metales y minerales de la corteza terrestre o del fondo oceánico, en la transformación de materias primas, en el transporte automotor, en la iluminación nocturna, en la comunicación a distancia y, en general en todas las actividades humanas.

Ahora bien, las fuentes de energía que han venido alimentado por muchos años a instalaciones industriales, centrales eléctricas y al parque automotor, proviene mayoritariamente de la combustión del petróleo, carbón y el gas natural. A partir de estos recursos naturales no renovables, se fomentó la industrialización y mecanización de múltiples procesos y sistemas, permitiendo el desarrollo y dinamización de la economía mundial junto con las mejoras de las condiciones materiales de la humanidad con respecto al aumento de la producción agrícola, la infraestructura urbana, el transporte y la comunicación.

Sin embargo, el problema surge en el modo como se extrae y transforma esa energía en la Tierra, en otras palabras, la quema de los combustibles fósiles contribuyen al aumento de los gases de efecto invernadero que se producen de forma natural como el CO_2 , el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3), además incorpora a la atmósfera aquellos que no se producen en la naturaleza: gases fluorados (CFC , $HCFE$, PFC , NF_3 , SF_6), resultando en un calentamiento del planeta debido a que absorben la radiación infrarroja emitida por la Tierra calentada por el sol y transfieren su energía adicional a los gases atmosféricos circundantes. Es necesario resaltar que el dióxido de carbono es el principal compuesto químico responsable del aumento de las temperaturas promedios globales (American Chemical Society, 2013).

En tal sentido, el sector industrial global y la sociedad en general deben enfrentar dos desafíos inminentes, el primero abandonar en el menor tiempo posible el uso de los combustibles fósiles y el segundo, encontrar fuentes de energía que garanticen el abastecimiento continuo y seguro, de baja inversión y que permita la descarbonización de la naturaleza. En los últimos años han surgido un conjunto de fuentes de energías alternativas al uso del carbón y petróleo, ofreciendo una esperanza para ralentizar y neutralizar el cambio climático, sin embargo, es necesario revisar con lupa dichas propuestas tecnológicas.

Ahora bien, las principales fuentes de energías alternativas y distintas a los combustibles fósiles que están en investigación y desarrollo en la actualidad son:

- Fuentes naturales: el sol, el viento, los ríos y mares, el hidrógeno, la materia orgánica y el interior de la Tierra.
- Fuentes no naturales: reacciones nucleares; waste-to-energy; captura, utilización y almacenamiento de dióxido de carbono; reacciones electroquímicas del litio.

A continuación se presenta una breve exposición de cada tipo de fuente de energía.

Energía solar

Se obtiene a partir de la radiación proveniente del Sol, fundamentalmente, se divide en energía solar fotovoltaica y energía solar térmica y almacenamiento térmico. Las tecnologías solares se utilizan en calefacción, refrigeración e iluminación. Mediante paneles solares o a través de espejos que concentran la radiación del sol o por medio de lo que se conoce como arquitectura solar, se realiza la conversión de la energía lumínica en otras formas de energía. En la actualidad, la tecnología fotovoltaica es la más desarrollada y de uso más común en infraestructuras urbanas porque puede ser instalada a menor escala. Los paneles están integrados por celdas fotovoltaicas hechas de silicio u otros materiales semiconductores que transforman la luz solar directamente en electricidad. Fundamentalmente, la luz solar absorbida crea cargas eléctricas que se mueven en respuesta a un campo eléctrico interno en la celda, lo que hace que fluya la electricidad (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2022).

Por otro lado, la energía solar concentrada (CSP por sus siglas en inglés) u hornos solares utiliza lentes y espejos para enfocar la luz solar y calentar un fluido, que a su vez genera electricidad o alimenta otro proceso por medio de dispositivos electromecánicos. La arquitectura solar, es un tipo de técnica pasiva que busca aprovechar el proceso natural de calentamiento y enfriamiento a través de techos pintados de blanco, barreras radiantes y los techos verdes, proporcionan aislamiento y reduciendo los costos de enfriamiento (Turgeon y Morse, 2022).

Energía eólica: otra forma de energía solar

Es aquella que se extrae del movimiento de las masas de aire a través de una turbina eólica o aerogenerador ubicado en tierra o en el mar. El calentamiento irregular de la atmósfera por parte del Sol junto con las irregularidades de la superficie terrestre y la rotación del planeta condicionan la formación del viento, de tal modo que el mismo es una forma de energía solar. En la tecnología eólica, el viento hace girar las aspas o hélice de una turbina alrededor de un rotor, éste convierte la energía cinética en energía mecánica, finalmente a través de un generador eléctrico la transforma en eléctrica. En tal sentido, la producción de electricidad depende de la longitud de las palas, el tamaño de la turbina y del rotor, la velocidad del viento o la ubicación del aerogenerador (Blanco, 2022).

Energía hidroeléctrica

Está asociada a la energía cinética y potencial gravitacional del agua. Este tipo de tecnología aprovecha el descenso pronunciado y movimiento rápido del agua para producir electricidad. Las centrales hidroeléctricas de los embalses se valen del agua almacenada y estancada, el flujo de agua que desciende vertiginosamente desde un nivel alto a través de un canal empuja los álabes de una turbina, haciéndolas girar en paralelo a un generador para producir energía eléctrica. La cantidad de electricidad que se puede generar depende de la altura de caída de

agua y del volumen de la misma que circule por el sistema. Otro tipos de centrales utilizan el flujo de agua de un río (Nunez, 2010).

Energía marina

Este tipo de energía tiene su fuente en procesos naturales como: las mareas que resultan de la rotación terrestre y la influencia gravitatoria de la Luna y el Sol; los gradientes térmicos o diferencias de temperatura entre el agua profunda y superficial; las olas que se generan por las interacciones entre el mar y la atmósfera. Las tecnologías de energía marina se fundamentan en las tres fuentes anteriores para generar energía eléctrica en un proceso conocido como conversión de energía térmica oceánica marina. Algunos convertidores usan boyas para capturar la energía del movimiento vertical y horizontal del océano, mientras que las turbinas pueden aprovechar la energía de las mareas y las corrientes. Por otro lado, la transformación de energía maremotérmica en eléctrica se realiza mediante un ciclo termodinámico de Rankine que se distingue porque el medio de trabajo está en estado líquido y la energía térmica hace que el fluido sufra un cambio de fase antes o en el momento en que entra en la etapa de expansión de una turbina (Jarabo et al., 1988).

Energía del hidrógeno

El elemento químico más comúnmente encontrado en el universo es el hidrógeno, también forma parte de la estructura molecular del agua, carbohidratos y glúcidos, hidrocarburos e incluso en fertilizantes, es altamente reactivo y su poder calórico es mayor que el de la gasolina, por tanto se puede utilizar como combustible para impulsar maquinaria pesada, camiones, aviones, trenes y barcos, además que reduce el consumo de aceite y contribuiría a la descarbonización de las factorías del acero, cemento y amoniaco.

Las tecnologías clave del hidrógeno involucran las pilas de combustible y los electrolizadores. En la primera de ellas se produce electricidad usando hidrógeno, con solo agua como subproducto y sin combustión, por sus características de almacenamiento de energía a largo plazo y fiabilidad, presenta futuras aplicaciones en torres de telefonía celular, centros de datos, hospitales y supermercados. En la segunda, se genera hidrógeno junto con oxígeno a través de electrolisis en el que ocurre una reacción de óxido-reducción. La mayor cantidad de este elemento se obtiene industrialmente por medio del gas natural a través del reformado de metano con vapor. Sin embargo, la acción biológica de los microbios o enzimas en la descomposición de las plantas y la energía de la radiación solar directa sobre el agua genera hidrógeno de forma natural. (US Department of Energy, 2022).

Energía de la biomasa

La Energía proviene o se extrae de: hierbas y arbustos; cultivos de alimentos; material residual de aserraderos, labranza y fábricas de papel, algas ricas en aceite, componentes

orgánicos de los desechos municipales e industriales y vertederos. Las tecnologías que se apoyan en la biomasa son: los biocombustibles, bioproductos y la bioenergía. El etanol obtenido a partir de granos de maíz y el biodiesel que se obtiene de la soja, son combustibles líquidos creados a partir de la biomasa, para su uso en el sector transporte. A través de biorrefinerías, la materia orgánica se puede convertir en productos químicos, plásticos y otros materiales que tradicionalmente se obtienen del petróleo. (National Renewable Energy Laboratory, 2020).

La combustión directa, conversión termoquímica, conversión química y conversión biológica son procedimientos comunes que se utilizan para que la biomasa se convierta en energía. En el primer proceso, la biomasa se quema directamente para calentar edificios y agua, para calor de procesos industriales y para generar electricidad en turbinas de vapor. Es necesario resaltar que la biomasa debe secarse para poder quemarse, para ello se usa la técnica conocida como torrefacción. En el segundo, incluye la pirólisis y la gasificación, que difieren en las temperaturas y la cantidad de oxígeno presente durante el proceso, sin embargo, en ambos las materias primas de biomasa se calientan en recipientes cerrados presurizados llamados gasificadores a altas temperaturas para producir combustibles sólidos, gaseosos y líquidos. En el tercero, a través de la transesterificación se convierten aceites vegetales y grasa animal en ésteres metílicos de ácidos grasos, que se utilizan para producir biodiesel. Finalmente, la conversión biológica incluye la fermentación para convertir la materia orgánica en etanol y la digestión anaeróbica para producir gas natural. (US Energy Information Administration (EIA), 2022).

Energía geotérmica

Es la energía térmica generada en el interior del planeta debido a la paulatina descomposición de material radiactivo. Básicamente, se realiza la perforación de pozos, por lo general de más de un kilómetro, que impulsa a la superficie agua y vapor subterráneo a altas temperaturas, para uso directo, climatización o generación de electricidad, esta última se produce del bombeo del gas de evaporación a través de una turbina. Los hidrotermales y sistemas geotérmicos son dos tipos de depósitos geotérmicos a partir de los cuales se extrae energía. El primero de ellos, de origen natural y relacionado con la presencia de fuentes termales, géiseres o volcanes. En el segundo, se utilizan medios de estimulación hidráulica. Este recurso natural es renovable y se encuentra a nivel global, sin embargo, solo se puede explotar en aquellos sitios con unas condiciones físicas concretas. (Gehring y Loksha, 2012).

Energía nuclear

Es la contenida en el núcleo de los átomos, en condiciones especiales puede ser obtenida en reacciones nucleares de fusión o fisión nuclear, esta última es la que se utiliza en la actualidad para generar electricidad mediante la liberación controlada de energía nuclear. Técnicamente, en la fisión nuclear el núcleo de un átomo de gran masa atómica se divide en dos o más núcleos de átomos más livianos, desprendiendo energía en el proceso. El material empleado con mayor frecuencia es el uranio-235 (U235), el cual ha sido enriquecido y confinado en

barras para aumentar su capacidad de fisión dentro de un reactor nuclear que controla las reacciones en cadena y que normalmente utiliza agua como agente refrigerante. (Galindo, 2022).

Ahora bien, las barras de combustible nuclear se bombardean con neutrones, estos provocan la división de los núcleos de uranio, lo cual libera energía en forma de calor y radiación junto con más neutrones que colisionan con átomos vecinos de U235, continuando así la división de los núcleos y aumentando el número de neutrones en una suerte de efecto multiplicador, resultando una secuencia de reacciones que termina elevando la temperatura del conjunto agua-uranio. El agua se mantiene a presión para evitar la ebullición, se extrae el exceso de energía térmica para evaporar agua en un depósito cercano. El vapor se usa para hacer girar a una muy alta rapidez una turbina conectada a un generador eléctrico que produce electricidad. (Jawerth, 2020).

Por otro lado, las reacciones de fusión nuclear prometen ser más potentes en comparación con la fisión (cuatro veces más) y aun mejor que la combustión de combustibles fósiles (cuatro millones de veces más energía) para la generación de electricidad, sin embargo, es una tecnología que aún está en investigación y desarrollo. Básicamente, en la fusión nuclear dos núcleos de baja masa atómica se ensamblan para formar uno más masivo, liberando energía. El combustible de fusión utiliza una mezcla de deuterio (2H) y tritio (3H) que resultan abundantes y de fácil obtención en la naturaleza. El 2H se extrae del mar y el 3H se puede obtener de la reacción de los neutrones generados por la fusión con el litio. Para que ocurra esta reacción nuclear de forma natural, los átomos deben estar densamente confinados y a temperaturas extremadamente altas como ocurre en el Sol. A nivel industrial, se necesita una temperatura incluso más alta, en el orden de 108 °C para lograr que el 2H y el 3H se unan, mientras se regulan la presión y las fuerzas magnéticas al mismo tiempo. (Barbarino, 2022).

Waste-to-energy

La energía que se pueda extraer de los desechos representa un recurso energético potencial y amigable con la naturaleza. Las tecnologías de conversión de residuos en energía (WtE por sus siglas en inglés) se fundamentan en el tratamiento por métodos termoquímicos y/o bioquímicos de los residuos, para producir energía eléctrica, térmica o biocombustibles.

Dentro del conjunto de residuos están los procedentes de alimentos comerciales, institucionales y residenciales; corrientes acuosas ricas en materia orgánica; lodos de procesos de tratamiento de aguas residuales y de estiércol de la ganadería industrial; gases de vertedero, desechos orgánicos de las industrias de alimentos y bebidas, de productos forestales y farmacéuticos, así como de la producción de biodiésel y las biorrefinerías integradas. En el procesamiento de residuos sólidos urbanos se usa la incineración en una planta de cogeneración. El procesamiento hidrotérmico sirve para producir mezcla de diésel a partir de lodos municipales. La digestión aeróbica además de su uso en el tratamiento de aguas y desechos

residuales y estiércol, también genera biogás, el cual contiene CO_2 y metano, que al quemarse produce calor y electricidad. (Ahmed et al., 2022; Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2022).

Captura, utilización y almacenamiento de dióxido de carbono

Las tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS por sus siglas en inglés) permiten disminuir las emisiones de CO_2 de las grandes plantas industriales y centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles o biomasa, al separarlo y purificarlo de los gases residuales. Además, el CO_2 puede capturarse directamente de la atmósfera, en caso de que no se use in situ, se comprime y transporta por oleoductos u otros medios para utilizarse en la producción de alimentos, bebidas, fertilizantes y la recuperación mejorada de petróleo, refrigeración, tratamiento de agua e invernaderos, combustibles, productos químicos y materiales de construcción. También es posible inyectarlo en reservorios geológicos subterráneos con rocas porosas y permeables tales como depósitos extintos de petróleo y gas o en formaciones salinas para evitar su fuga hacia la atmósfera. Las tecnologías asociadas a la CCUS son: la absorción química y la separación física; membranas; el ciclo químico o el ciclo de calcio, la separación de oxcombustible y los ciclos de potencia de CO_2 supercrítico. (International Energy Agency, 2021).

Baterías de ión litio

El componente fundamental de la electroquímica de la tecnología es el ion de litio (Li). Las baterías recargables de este tipo de elemento, presentan una de las densidades de energía más altas en el rango de 100-265 Wh/kg o 250-670 Wh/L, es decir, almacenan más energía en menos espacio, además pueden entregar hasta 3,6 voltios, por tanto, logran suministrar una considerable intensidad de corriente eléctrica para aplicaciones de alta potencia.

Básicamente, el mecanismo de funcionamiento consiste que en el ciclo de descarga, los átomos de Li en el ánodo de grafito (C) se ioniza, seguidamente sus iones se desplazan desde el electrodo positivo y atraviesan el electrolito hasta llegar al electrodo negativo hecho de cobaltato de litio ($LiCoO_2$), donde se recombinan con sus electrones y se neutralizan eléctricamente. El arreglo de electrodos de $LiCoO_2$ (cátodo) y C (ánodo), corrientemente es encontrado en dispositivos informáticos portátiles como *Smartphones* y *Laptops*. Existen otros materiales de cátodo que también se utilizan como el óxido de manganeso de litio – utilizado en automóviles eléctricos e híbridos y sistemas que energizan algunas aplicaciones aeroespaciales – y fosfato de hierro y litio. (Clean Energy Institute, 2020).

Las baterías de Li son un componente clave en los paneles solares por presentar una densidad de energía superior, cargarse en menor tiempo y permanecer en ese estado más tiempo, gracias a que cuentan con un sensor de temperatura, un circuito regulador de tensión y un monitor

de estado de carga, de tal modo que se controlan la carga eléctrica y la intensidad corriente, favoreciendo el autoconsumo. (Iberdrola, 2021).

La encrucijada de las energías alternativas

En la sección anterior se ha presentado un conjunto de tecnologías para la generación de energía que permitirían descarbonizar a la Tierra, es decir, su baja producción de dióxido de carbono durante su puesta en funcionamiento ayudaría a ralentizar el cambio climático. Sin embargo, más allá de viabilidad científica, existe un conjunto de elementos a tomar en cuenta, al respecto se toma como fundamento el trabajo de investigación de Arias et al. (2021), en el cual se resalta lo siguiente:

En efecto, a pesar que la energía fotovoltaica es la más competitiva con respecto a otras fuentes de generación de electricidad y que ha bajado costo de inversión, existe ciertas limitaciones que se deben considerar en su implementación como el área y la cantidad de radiación solar que es recibida, esta última no es la misma a nivel global, así que algunas poblaciones podrán beneficiarse más que otras. Además, aspectos como el financiamiento para la adquisición de equipos e incluso el personal técnico necesario para su instalación condicionan su viabilidad en regiones de bajos recursos económicos. También, la tecnología fotovoltaica requiere de silicio, aluminio, cobre y plata para su fabricación, así que hay que considerar el impacto ambiental por la extracción de estos materiales.

Del mismo modo, la energía eólica está condicionada por la disponibilidad de espacio, además si la instalación es en tierra o en el mar, la variabilidad del viento según la región, la época del año y durante el día. Por tanto, se tiene un conjunto de aspectos que se deben considerar en su implementación y aumentando sus costos de construcción, mantenimiento y transmisión. También, por más que se aborda a través de la integración a una red y de dispositivos de almacenamiento, por un lado, no se tienen estudios sobre los efectos ecológicos a largo plazo, y por el otro, los generadores eléctricos de las turbinas eólicas requieren de neodimio, disprosio y otros metales y minerales, lo cual genera alarma si efectivamente este tipo de tecnología pueda descarbonizar la naturaleza.

Con respecto a la generación de la energía de ríos o embalses de agua, por una parte ésta es susceptible a la sequía, es decir, está condicionada por la variabilidad climática, por tanto, el calentamiento global puede jugar un rol importante en su funcionamiento. Por otra parte, las centrales hidroeléctricas de embalse demandan de grandes extensiones de tierra, afectando en su construcción y puesta en marcha la flora y fauna de su locación e incluso el suministro de agua a ciertas poblaciones.

En cuanto a la energía obtenida a partir de la fisión del núcleo del átomo, se presenta un conjunto de desafíos vinculados con una elevada inversión inicial, con las medidas de protección

radiológica en el tratamiento de los desechos que presentan diferentes niveles radiactivos, la disponibilidad y acceso de los recursos de uranio, la transferencia de conocimiento. En el caso de la fusión nuclear se enfrenta al reto del desarrollo de nuevos materiales y la estabilidad del proceso que se caracteriza por la dificultad que ofrece para iniciar y luego mantenerse.

En lo referente a las tecnologías CCUS, se encuentran algunas observaciones que deben tomarse en cuenta, en primer lugar, el secuestro CO_2 y posibles aplicaciones requieren energía, resultando posiblemente económica y técnicamente no viable. En segundo lugar, cuando se procesan productos derivados de combustibles fósiles, nuevamente se emite CO_2 a la atmósfera. En tercer lugar, algunos usos del CO_2 están limitados por su pureza y extremas condiciones de presión.

En el caso de la obtención de energía a partir de la biomasa, existe un conjunto de hechos que examinar en este tipo de desarrollos tecnológicos, entre los cuales se encuentra las posibles amenazas para la biodiversidad, el fomento a la deforestación e incluso el cambio de uso del suelo o la eliminación de la siembra de alimentos para la producción de cultivos bioenergéticos y el uso del agua. Por otro lado, la producción de biocombustibles eficientes está aún en fase experimental de laboratorio y requerirán el avance de las tecnologías de la gasificación, el procesamiento Fischer-Tropsch, la licuefacción hidrotermal y la pirólisis.

En la producción de energía geotérmica se presenta una serie de situaciones que generan alarma como la escasez de agua que puede generar los sistemas geotérmicos a gran escala que utilizan la estimulación hidráulica y los posibles riesgos sísmicos asociados a la perforación de pozos. Además, el costo de inversión, la contaminación sísmica y la presencia de olores desagradables son elementos a considerar.

Por otra parte, las tecnologías relacionadas con la producción de energía a partir del mar aún son incipientes, falta desarrollar más infraestructura, requieren una fuerte inversión inicial, además falta estudios sobre su impacto ambiental en la biodiversidad marina.

En lo que se refiere a la tecnología *Waste to energy*, se debe contar con instalaciones adecuadas para el control del polvo y gases como el dióxido de azufre, ácido clorhídrico, fluoruro de hidrógeno, dióxido de nitrógeno y otros contaminantes altamente tóxicos y persistentes o contaminantes orgánicos persistentes (COP) que se encuentran en los gases de combustión que afectan a la naturaleza y a la salud del ser humano.

En la fabricación de las baterías recargables se utilizan litio, níquel, cobalto y fósforo cuya extracción genera daño a la naturaleza, además en su procesamiento se consume gran cantidad de energía, representando una contradicción para descarbonizar a la Tierra.

En resumen, se ha presentado un conjunto de debilidades que caracterizan las propuestas de nuevas fuentes de energía. Se pueden distinguir al menos cuatro elementos que resaltan, el

primero relacionado con la viabilidad económica que afecta su implementación, el segundo se relaciona con la consolidación de la tecnología, es decir, aún falta más investigación y desarrollo. El tercero es el requerimiento de más metales, minerales y tierras raras puede aumentar la huella de carbono. El cuarto es la ausencia de estudios del impacto al ambiente a largo plazo.

Además, existe otro par de elementos que aunque no se presenta de forma explícita en el análisis anterior, si están implícitamente, el primero de ellos trata sobre la competencia en rentabilidad con respecto a los combustibles fósiles. Los hidrocarburos y sus derivados dominan la economía mundial, tanto países exportadores como importadores dependen de ellos para generar riquezas, en tal sentido, el cambio de paradigma en el uso de fuentes de energía tradicionales puede encontrar resistencia, de tal modo que el proceso de la transición energética resulta no gradual como lo que se requiere, disminuyendo la capacidad de respuesta que requiere el cambio climático. Paradójicamente, continuar con cierto uso de los combustibles fósiles va depender de la cohabitación estratégica con las tecnologías alternativas.

El otro elemento implícito se relaciona con la fase previa a la implementación de las tecnologías, abarcando la determinación de la cantidad de recurso renovable, el desarrollo de herramientas de modelado, diseño, optimización y validación de materiales e instalaciones, la valoración de la viabilidad del proyecto, la ejecución de ensayos estructurales de componentes, adaptación a normativas, caracterización de muestras en el caso de la generación de bioenergía, estimación de riesgos tecnológicos, simulación climática y mantenimiento predictivo. Todo un conjunto de aspectos que debe ser llevado a cabo por personal altamente calificado y aunado a lo anterior se encuentra el uso de herramientas de Inteligencia Artificial en los modelados computacionales, lo que demanda gran potencia de cómputo y centros de datos, encontrando este tipo de emprendimientos tecnológicos cierta resistencia inicial para su desarrollo.

También, es necesario resaltar que son las grandes corporaciones las que están detrás del desarrollo de la tecnología, de tal modo que el tema de la dependencia y soberanía tecnológica se coloca sobre la mesa de debate. Es imposible que sin la transferencia directa de los avances en el conocimiento y de recursos tecnológicos en áreas tan sensibles para el planeta se logre ralentizar el cambio climático. Pocos son los países que pueden emprender en el campo de las energías alternativas, así que es limitado el esfuerzo disminuir la tendencia del aumento de las temperaturas promedio globales.

Por supuesto, sin el desarrollo de una conciencia global sobre la responsabilidad del ser humano en la sucesión de eventos desafortunados que ha desencadenado el cambio climático impulsado por un estilo de consumo desenfrenado fundamentado en una perspectiva de recursos ilimitados, no habrá avance tecnológico que evite la extinción de nuestra especie.

Conocimiento y tecnologías libres, una solución al cambio climático

Las diferentes áreas del conocimiento son el resultado de la participación de muchas personas y también de un largo proceso de maduración del pensamiento humano, que se ha logrado a través de compartir conocimientos, experiencias y la oportuna colaboración de varios actores como pensadores, investigadores y tecnólogos. La construcción de conocimiento en forma colaborativa ha permitido el avance de las ciencias y la innovación tecnológica, de hecho, la construcción de nuevo conocimiento en un área determinada, no se lograría si el conocimiento es ocultado y sin el concurso de los actores antes mencionados. De tal manera que el conocimiento no tiene propiedad individual sino que es un bien común para la humanidad, porque resulta de un proceso colectivo y colaborativo, por tanto, intentos de privatizar el conocimiento además de estar en perjuicio del ser humano, coarta la posibilidad de generar nuevos conocimientos (Roca, 2010).

Por consiguiente, el conjunto de tecnologías que están en desarrollo para producir energía de otras fuentes diferentes al petróleo, gas natural y carbón, requieren de la mayor cantidad de participantes a nivel global, deben estar apartadas de su explotación meramente comercial por una pequeña elite, de tal modo que a partir de intercambio de conocimientos y recursos tecnológicos permitan la viabilidad científica y superar las limitaciones técnicas, generando innovaciones económicamente factibles que permitan prosperidad y lo más importante recuperar el planeta que conscientemente o no se está llevando a la destrucción.

En la actualidad existen iniciativas en tecnologías libres que sirven como un punto de referencia para el doble propósito: conocimiento libre y mitigación del cambio climático. Por su connotación en la producción de alimentos, es importante resaltar un proyecto orientado a la agricultura denominado *OpenTeam*. Básicamente, consiste en un software de aplicación, aun en fase de desarrollo, cuyas funcionalidades son el procesamiento de cómputos como mediciones de carbono a nivel de campo y análisis predictivo con el objetivo de favorecer cultivos climáticamente inteligente, evitar la degradación de los suelos y la emisión descontrolada de CO_2 (Parada, 2020).

Reflexiones finales

En la actualidad se tiene un planeta con poblaciones que presentan grandes desigualdades en sus condiciones económicas y sociales, por ende con grandes limitaciones en el acceso a los alimentos, al agua y centros de salud. El cambio climático contribuirá aún más a incrementar estas penurias. Desde la aparición de nuevos virus, plagas hasta posibles e indeseables conflictos bélicos generados por sequías, pasando por el aumento de enfermedades respiratorias y de la piel, representan la potencial peligrosidad de los efectos del calentamiento global, indudablemente es necesario ralentizar el mismo.

Es urgente entender que la explotación intensa y sin control de los recursos naturales, la indiferencia de la población al uso abusivo de los mismos junto con el uso de fuentes de energía fósiles ineficientes y contaminantes han sido factores determinantes en la aceleración del incremento de las temperaturas promedio global condicionando la existencia de la vida en el planeta para las próximas décadas.

Existe un conjunto de propuestas tecnológicas para sustituir las fuentes tradicionales de energía, pero requieren costos elevados de inversión inicial en investigación, desarrollo e implementación que pueden dificultar su emprendimiento a nivel global. Además, el peligro latente de que podría fomentar cambios de uso de la tierra perjudicando el suministro de alimentación y la inevitable extracción de metales, minerales y tierras raras con su respectivo impacto ambiental, por tanto representan una encrucijada para su aceptación y adopción.

Sin embargo, las tecnologías alternativas pueden coadyuvar a enfriar el planeta, por tanto su avance es importante, en este punto, es necesario el conocimiento libre de modo que la construcción de las soluciones tecnológicas así como el beneficio de las mismas permitan superar el conjunto de problemas sociales, culturales, sanitarios y económicos que se advienen o incrementarán en las próximas décadas por los cambios en las condiciones de temperatura de la biosfera.

Por tanto, el conjunto de innovaciones tecnológicas que se han presentado en este breve escrito deben ser libres y de fácil desarrollo e implementación en cada país o en su defecto accesible a la población para ayudar así a mitigar uno de los retos naturales más importantes de la humanidad que amenaza su existencia y las demás formas de vida. La aguja del reloj del fin del mundo avanza, sin embargo, existe la posibilidad de detener su avance e incluso hacer que retroceda, solo es cuestión de asumir responsabilidad, cambiar el estilo de consumo y que las tecnologías sean realmente limpias y libres.

Referencias

- Ahmed, A., Li, W., Varjani, S. y You, S. (2022). Waste-to-energy technologies for sustainability: life-cycle assessment and economic analysis. *Biomass, Biofuels, Biochemicals*, 599-612. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-89855-3.00008-x>
- American Chemical Society. (2013). Which Gases Are Greenhouse Gases? *ACS: Chemistry for Life*. <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/greenhousegases/whichgases.html>
- Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M., Plattner, G., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P., Trewin, B., Achuta-Rao, K., Adhikary, B., Allan, R., Armour, K., ... Zickfeld, K. (2021). Technical Summary [Masson-Delmotte, V. Zhai, P., Pirani, A. Connors S., Péan, C., Berger, S.,

- Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J., Maycock, T., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., and Zhou, B. (eds.]. *In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 33-144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Barbarino, M. (2022). *What is Nuclear Fusion?* International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion>
- Barry, R. y Chorley, R. (1999). *Atmosfera, tiempo y Clima, (7ª ed.)*. OMEGA.
- Blanco, T. (2022). *¿Qué es la energía eólica? La importancia del viento como renovable*. BBVA NOTICIAS. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-eolica-la-importancia-del-viento-como-renovable/>
- Clean Energy Institute. (2020). *What is a lithium-ion battery and how does it work?* <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology>
- Coleman, J. y Law, K. (2015). Meteorology. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09492-6>
- Eyring, V., Gillett, N., Achuta-Rao, K., Barimalala, R., Barreiro-Parrillo, M., Bellouin, N., Cassou, C., Durack, P., Kosaka, Y., McGregor, S., Min, S., Morgenstern, O. y Sun, Y. (2021). Human Influence on the Climate System [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.]. *In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 423-552). Cambridge University Press. <https://doi.org/doi.org/10.1017/9781009157896.005>
- Galindo, A. (2022). *What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power*. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>
- Gehring, M. y Loksha, V. (2012). *Manual de geotermia: cómo planificar y financiar la generación de electricidad*. ESMAP technical report, 002/12. World Bank.
- Greene, T. y Jacobs, P. (2022). *2021 Tied for 6th Warmest Year in Continued Trend, NASA Analysis Shows*. National Aeronautics y Space Administration. <https://www.nasa.gov/press-release/2021-tied-for-6th-warmest-year-in-continued-trend-nasa-analysis-shows>
- Iberdrola. (2021). *Las baterías de ion de litio, fundamentales para el almacenamiento de energía*. <https://www.iberdrola.com/innovacion/baterias-ion-litio>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)] [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.]. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of*

- climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 541-562). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.008>
- International Energy Agency. (2021). *Carbon capture, utilisation and storage*. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>
- Jarabo, F., Pérez, C., Elortegui, N., Fernández, J. y Macías, J. (1988). *El libro de las energías renovables*. S.A.P.T.
- Jawerth, N. (2020). ¿Qué es la transición a una energía limpia y cómo encaja la energía nucleoelectrica? *Boletín del OIEA: la energía nucleoelectrica y la transición a una energía limpia*, 61(3), 4-5. <https://www.iaea.org/sites/default/files/cleanenergyes.pdf>
- Lee, H. (2020). How earth's climate changes naturally (and why things are different now). *Quanta Magazine*. <https://bit.ly/3xXgM9U>
- NASA Earth Science Division. (2022). *Climate Change Evidence: How Do We Know? Climate Change: Vital Signs of the Planet*. <https://climate.nasa.gov/evidence/>
- National Renewable Energy Laboratory. (2020). *Biomass Energy Basics*. <https://www.nrel.gov/research/re-biomass.html>
- Nunez, C. (2010). *Conozca las ventajas y los inconvenientes de la generación de electricidad a partir de los cursos de agua*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2022). *Waste-to-Energy*. *Energy.gov*. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/waste-energy>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2022). *Servicios de regulación. Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>
- Parada, M. (2020). *Open source y el cambio climático: 8 proyectos de código abierto amigables con el medio ambiente que debes conocer*. OpenExpo Europe 2022. <https://openexpo-europe.com/es/open-source-y-el-cambio-climatico-8-proyectos-de-codigo-abierto-amigables-con-el-medio-ambiente-que-debes-conocer/>
- Roca, S. (2010). Red Nacional de Sensibilización para el Conocimiento Libre. *Revista CLIC*, 1, 60-66.
- Smith, A. (2021). A net zero climate-resilient future: science, technology and the solutions for change. *The Royal Society*. <https://bit.ly/3CnBoed>
- Turgeon, A. y Morse, E. (2022). *Solar Energy*. *National Geographic Society*. <https://education.nationalgeographic.org/resource/solar-energy>
- US Department of Energy. (2022). *Hydrogen and Fuel Cells 101*. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-01/hydrogen-fuel-cells-101-jan2022.pdf>
- US Energy Information Administration (EIA). (2022). *Biomass explained*. <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A. y Ellis, M. (2011). The Anthropocene: a new epoch of geological time? *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 835-841. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0339>