



# REPORTE DE INVESTIGACIÓN

**“Crecimiento económico, cambio climático y tecnologías de generación”.**

Dra. María Guadalupe Huerta Moreno

Proyecto núm. 1147, “El subsector eléctrico y las políticas para la transición energética y el cuidado del medio ambiente en México”.

Línea de Generación  $\forall$  Aplicación de Conocimiento.  
- Estado, Gobierno y Políticas Públicas.

Mayo de 2024.

## Presentación

El Reporte de Investigación de la Dra. Huerta Moreno “Crecimiento económico, cambio climático y tecnologías de generación” como tercer producto de investigación asociado al proyecto “El subsector eléctrico y las políticas públicas para la transición energética y el cuidado al medio ambiente en México”, integra de manera relevante el análisis del cambio climático y la transición energética en el modelo de acumulación capitalista. Se estudia en este reporte, los efectos devastadores de una economía altamente demandante de energía a partir de sus procesos productivos que se disocian del límite natural.

El Reporte se estructura en cuatro apartados: 1) El debate teórico en torno a la relación ciencia económica, crecimiento económico y mundo natural, 2) El análisis de las transformaciones productivas y tecnológicas incidentes en la evolución del mix energético y eléctrico en atención a la emergencia climática, 3) El estudio de los compromisos de la Contribución Determinada a nivel nacional en México y, 4) Conclusiones.

De manera excepcional, la Dra. Huerta Moreno con un sólido referente bibliográfico nos conduce por un recorrido de postulados económicos y ambientales tanto históricos como recientes que, adicionalmente en datos y gráficos sustentan una investigación de alto nivel desde los procesos de transformación hasta el análisis de las tecnologías de generación energéticas.

Para mantener la habitabilidad del planeta señala la Dra. Huerta, se requiere de una serie de transformaciones profundas y estructurales a partir de dejar de sostener la concepción clásica del desarrollo económico y establecer una orientación ecosocialista de cambio al modelo vigente de acumulación y, junto con ello, abatir el consumo irracional de recursos energéticos y naturales.

Dr. Alfredo Garibay Suárez  
Jefe del Departamento de Administración

## **Crecimiento económico, cambio climático y tecnologías de generación**

**Dra. Guadalupe Huerta Moreno**  
**Departamento de Administración**  
**UAM Azcapotzalco.**

### **Resumen**

El presente reporte de investigación titulado: *Crecimiento Económico, cambio climático y tecnologías de generación*, es el tercer producto de trabajo del proyecto: “El subsector eléctrico y las políticas públicas para la transición energética y el cuidado al medio ambiente en México”, mismo que se ubica dentro la Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC), de la DCSH de la UAMA, en la denominada Estado, Gobierno y Políticas Públicas del Departamento de la Administración.

En este reporte se revisan diversos elementos alrededor de la problemática del cambio climático y la transición energética considerando que atender las demandas de materias primas y energía del modelo de acumulación capitalista por encima de los límites biofísicos del planeta ha tenido efectos devastadores en el medio ambiente. Por ello, se propone que para avanzar en la descarbonización y la lucha por contener el aumento de las temperaturas globales es fundamental revisar, desde la ciencia económica, los conceptos de crecimiento y progreso que teóricamente han estado vinculados a la idea de que es posible producir y consumir bienes y servicios de manera ilimitada. Condición que supone un mundo de recursos naturales y energéticos infinitos que ha llevado a la búsqueda incesante por aumentar la infraestructura y la generación de energía eléctrica a través de diversas fuentes de energía primaria: de la madera y el carbón a los combustibles fósiles y la energía nuclear con sus complementos en el sol, el agua y viento.

### **Introducción**

En México y en el mundo ha predominado la idea de que el bienestar sólo se logra con un crecimiento económico significativo y la medida para acreditar tal condición es el Producto Interno Bruto (PIB), sin embargo, alcanzar mayores

tasas del PIB pasa por la creciente utilización de recursos naturales destinados a la producción de bienes y servicios.<sup>1</sup> Lo que al mismo tiempo implica un consumo cada vez mayor de energía. En ese sentido, en la ciencia económica, tanto en las versiones ortodoxas como en algunas de las corrientes de la heterodoxia que buscan apegarse más a la realidad factual, históricamente se ha apoyado el supuesto de que la producción, la productividad y el consumo dan muestra del progreso económico que parecía estar dissociado de los límites naturales sociales, biológicos y ecológicos del planeta.

Desde la perspectiva económica dominante, la neoclásica, se presenta a los daños ecológicos como simples externalidades que pueden ser revertidas en tanto el mercado ubica los incentivos, los derechos de propiedad y los precios correctos a pagar cuando se producen fallas en su funcionamiento que afectan al medio ambiente y/o provocan su degradación. En tanto que, con una mirada que pretende diferenciarse de la económica ortodoxa y su visión del vínculo economía-medio ambiente, la economía ecológica ha producido avances de reflexión económica interesantes respecto de cómo los factores económicos han impulsado la crisis ambiental. Sin embargo, al incluir el concepto de capital natural y de los servicios que brindan los ecosistemas dentro de una “contabilidad económica ambiental” y asociar al mecanismo de precios del mercado variables ambientales (calidad de suelos, biodiversidad, clima, hidrología, vegetación, por mencionar algunas) termina por avalar la idea de que los impactos ecológicos del crecimiento económico pueden reducirse si los mercados de recursos naturales y las prácticas productivas operan y/o se vuelven más eficientes. Entonces, parecería que las innovaciones, los desarrollos tecnológicos y los ajustes técnicos a la producción que elevan la eficiencia energética, sumados a las nuevas formas de comercio de recursos naturales, hacen posible que la acumulación de capital y la producción ampliada de bienes y servicios crezcan de forma casi infinita.

En el terreno práctico, el tipo de crecimiento económico imperante –desde la revolución industrial hasta la fecha- está fundamentado en procesos productivos

---

<sup>1</sup> Si todos esos bienes y servicios son asequibles para la población en general es otra historia y tiene que ver con la desigualdad y la concentración de la riqueza planetaria, problemática que no se tocará en este Reporte de Investigación.

caracterizados por una demanda de energía y electricidad ascendentes, de tal manera que para satisfacer las necesidades energéticas del mundo se impuso un *mix energético* basado fundamentalmente en el consumo de energía primaria fósil como el carbón, petróleo y gas natural que son los responsables de al menos 3/4 partes de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en el planeta (OWID, s/f). Por su parte, el *mix eléctrico* global ha cambiado y hoy se integra por tecnologías maduras como la hidroeléctrica y la nucleoelectrica y aunque mayoritariamente las tecnologías de generación siguen utilizando gas, carbón y petróleo, en las últimas cuatro décadas las tecnologías renovables (hidroelectricidad, energía marina, eólica, solar fotovoltaica y fototérmica, bioenergía y geotérmica) ganaron terreno en la producción mundial de electricidad, pues pasaron de generar 5 039 245 GWh en 2013 a 7 857 803 GWh en 2022 (Ritchie, H. and P. Rosado 2020a; Ritchie, H., and P. Rosado, 2020b; IRENA, 2023a).

Los cambios tanto en fuentes de energía primaria como en tecnologías de generación eléctrica han estado inducidos por los esfuerzos globales para estabilizar la temperatura del planeta y contender con el cambio climático que son dos de los mayores peligros que se ciernen sobre los países, las economías y la población humana y no humana global. Contexto al que México no es ajeno y por lo cual se están implementando diferentes políticas y estrategias de mitigación para transformar el *mix eléctrico* del país a fin de que se genere una mayor cantidad de electricidad de fuentes renovables y con bioenergía moderna -que incluye el biogás, los biocombustibles líquidos y bioenergía sólida- para contribuir a la descarbonización y la reducción en la emisión nacional de GEI.

A partir de las ideas anteriores, se preparó este Reporte de Investigación, mismo que se divide en cuatro apartados, después de la introducción. En el primero, se revisa de manera sintética el debate teórico en torno a la relación ciencia económica, crecimiento económico y mundo natural, lo cual nos parece indispensable para avanzar en la construcción de alternativas de progreso y bienestar que si van a ser sostenibles requieren moderar la demanda de electricidad y conservar ambientalmente al planeta. En el segundo, se analiza cómo las transformaciones productivas y tecnológicas incidieron en la evolución del mix energético y eléctrico que nos ha llevado a una condición climática de

altamente deteriorada y de emergencia climática que impone la obligación de reducir rápidamente las emisiones de GEI en los volúmenes requeridos para detener el aumento de la temperatura del planeta. En el tercer apartado, y considerando los compromisos de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) del país, se abordan las características del mix eléctrico nacional y las especificidades de cada tecnología de generación, lo que facilita exponer su potencialidad y sus límites en términos de la descarbonización de la producción de electricidad. En el último se presentan las conclusiones.

### **1.- Economía, crecimiento y medio ambiente.**

Las actividades económicas y los procesos productivos inherentes a las sociedades preindustriales o a las del capitalismo industrial o postindustrial requieren de los recursos de los ecosistemas que, en la forma de fuentes de energía primaria o materias primas, se transforman en productos destinados a los mercados y cuya utilidad se refleja en la “satisfacción” de las necesidades humanas. Más allá del discurso la economía verde que se define como aquella que “tiene bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente” (PNUMA, 2011, 02), hoy la producción global se realiza sin consideraciones medioambientales ni de equidad intergeneracional reales. Esto se desprende de la hegemonía de una construcción económico-ideológica que identifica al crecimiento y el progreso con el aumento permanente de la producción de bienes y servicios, condición que se refuerza porque las desigualdades manifiestas de poder económico y político entre países favorecen la explotación de los recursos naturales y energéticos de los países en desarrollo en beneficio de las actividades productivas y extractivas de las grandes empresas multinacionales del mundo desarrollado que benefician a la población de los países más ricos.

Desde el campo de la ciencia económica, para los economistas clásicos el crecimiento económico estaba ligado a aspectos físicos no a valores, por lo que la agricultura, el único factor que hace referencia a la tierra frente al trabajo y al capital, era la fuente del trabajo productivo y de la riqueza económica en la medida en que “todo excedente que la economía puede alcanzar viene imputado a la agricultura” (Napoleoni, 1981, 20). De ahí que a pesar de las diferencias en

las formas de producción agrícola burguesa y campesina el origen de la prosperidad dependía de la tierra agrícola y de su explotación sobre la base de las características y variaciones de su fertilidad natural. En esos términos, la conceptualización del desarrollo giraba en torno a la relación de magnitudes físicas entre producción y agricultura, incorporando en aquella la influencia de las propiedades naturales del suelo como variables determinantes de la productividad de la tierra.

Con el paso del tiempo la reflexión económica ya no se centraría en la agricultura, pues el capitalismo había transitado de sociedades mercantiles a economías capitalistas y se propuso que la distribución del producto social se realizaba en función de lo que se consideraban los aportes de cada factor de la producción: tierra, trabajo y capital. En este caso la parte más relevante de la construcción teórico-económica es el proceso productivo, así como el tipo de beneficio que toca al capital invertido y del tipo de salario (de mercado o de subsistencia) que corresponde al trabajo (Ricardo,1959). Aquí la relevancia de la tierra y su fertilidad han pasado a segundo plano en la reflexión económica, lo que supuso tender una especie de velo sobre la importancia de reconocer que el mundo de los recursos biofísicos no es infinito y, por lo tanto, debería tener un tratamiento especial en la ciencia económica. No solo porque son indispensables para poder satisfacer la demanda de materias primas o de energía de las generaciones futuras,<sup>2</sup> dada su condición de “soporte vital del sistema económico” (Constanza y Daly, 1987,3), sino en función de que los recursos de la naturaleza y los flujos de energía de los ecosistemas son lo que mantienen la vida en el planeta y el bienestar humano.

Entonces, como señalan Gómez-Baggethun y Groot, citando a Naredo (2003), “el desentendimiento definitivo de la consideración de límites físicos a la economía y de la consideración de la naturaleza como fuente de valor, no tiene lugar hasta la consolidación de la economía neoclásica como teoría económica dominante durante las últimas décadas del siglo XIX y las primeras del siglo XX” (2007, 5). Por lo tanto, a lo largo del siglo XX las variables fundamentales para análisis económico, ya con poco interés por los recursos naturales de la tierra y

---

<sup>2</sup> No solo humanas, sino de todas las especies que habitan el planeta.

su influencia respecto del producto social generado, se centraron en el capital dinerario<sup>3</sup> y en el trabajo, mientras los límites biofísicos del planeta quedaron ampliamente ignorados de la reflexión económica. De ahí que los impactos de las actividades económicas en el medio ambiente y sus efectos negativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales disponibles se asimilaron dentro del concepto de fallas del mercado. De esta manera se transformaron en simples externalidades o “efectos externos” que pueden corregirse estableciendo los incentivos, los derechos de propiedad y los precios que permiten al mercado operar eficientemente, lo que esto quiera decir, y a partir de ello las fallas se pueden revertir y el valor social se maximiza frente al valor privado (Coase, 1960; Naradowsky, 2011). Lo que desde perspectiva económica no se advierte es que en el caso de los recursos de la naturaleza cuando ha habido contaminación, degradación o sobreexplotación volver a un estado inicial nunca es sencillo y en la mayoría de los casos los daños son irreversibles, por lo tanto, la pérdida en materia ambiental o de biodiversidad puede ser irre recuperable.

En paralelo a los rápidos cambios de las últimas tres décadas del siglo XX que configuraron un mundo globalizado<sup>4</sup> se produjeron diversas crisis económicas y financieras, se consolidó un comercio prácticamente sin restricciones entre países y se propagaron las tecnologías de difusión de información en tiempo real. Pero al mismo tiempo se evidenció que el crecimiento económico basado en una acumulación de capital que demanda enormes cantidades de recursos naturales y energía para viabilizar las actividades económicas y sostener un consumo masivo estaba teniendo consecuencias graves para el medio ambiente. Entre ellas la contaminación del aire, crisis hídricas, pérdida de ecosistemas y de especies, hambruna por pérdida de cosechas y acidificación de los océanos.

Lo anterior impulsó una corriente de pensamiento en la que economistas y ecologistas se acercaron, bajo diferentes grados de integración y alcance, para

---

<sup>3</sup>A partir de los ochenta del siglo XX, la consolidación del capitalismo financiarizado provocó que el capital dinerario fuera desplazado por el capital financiero en el dominio de los capitales productivo y comercial.

<sup>4</sup> Aunque la globalización parecía no tener retorno, después de la pandemia del COVID 19 y sus secuelas sanitarias y económicas, han proliferado políticas de relocalización productiva entre países que están llevando a la reconfiguración de nuevos bloques regionales.

tratar de desarrollar una reflexión económica-ecológica que incluyera "...el impacto del crecimiento económico sobre el medio ambiente",...,y,...,"la necesidad de integrar consideraciones ambientales en las políticas de desarrollo". De esta forma se trató de integrar en la discusión económica la interrelación y el conflicto entre el desarrollo y la protección ambiental (World Bank & Oxford University Press, 1992; Martínez Alier, 1998; Rees, 2003). Aquí se presentaba una perspectiva de análisis más integral de la interconexión entre sistema ambiental y los ecosistemas que proporcionan insumos y energía al subsistema económico y social, pero enfatizando que los primeros no son infinitos y pueden deteriorarse. Consideraciones que deberían ser suficientes para desacoplar la idea del desarrollo económico como un proceso de generación de progreso material sin límites biofísicos. Desde este punto de vista, un concepto clave que rápidamente se difundió fue el de capital natural, que para Constanza y Daly no es otra cosa que "cualquier stock que produce un flujo de bienes o servicios o ingreso natural valioso hacia el futuro" ... por lo que..." El capital natural y el ingreso natural son simplemente los componentes del stock y del flujo, respectivamente, de los recursos naturales" (1992, 38).

El afianzamiento del concepto de capital natural condujo a la suposición de que los recursos de la naturaleza son un factor de la producción más y, por lo tanto, pueden ser incorporados en una función del tipo Cobb-Douglas donde se consideran finitos o renovables. La aplicación neoclásica de este razonamiento se puede observar en la formulación hecha por Döhring, et, al., de la siguiente manera: donde  $Y = AK^a H^b R_f^{cf} R_r^{cr}$ , siendo  $Y$  la producción,  $K$  el capital producido,  $H$  el capital humano y donde  $R_f$  ( $R_r$ ) es un bien o servicio de aprovisionamiento finito (o renovable) extraído del stock total de capital natural. Los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $cf$  y  $cr > 0$  y  $a + b + cf + cr^5 = 1$ .  $A$  representa el nivel de tecnología ( $A > 0$ );  $a$ ,  $b$  y  $c$  son las productividades marginales del capital, del capital humano y de los recursos naturales. En virtud de que la elasticidad de sustitución entre factores de la producción es igual a uno, la producción económica puede sostenerse en presencia de recursos naturales finitos en la medida en que el capital producido  $K$  pueda reemplazar al capital natural  $R$ . Es

---

<sup>5</sup> Elasticidad de sustitución.

decir, si el progreso técnico se acelera la producción económica en el largo plazo (es decir, crecimiento, estabilidad o declive) dependerá de la tasa de progreso técnico en comparación con el impedimento derivado de que se agoten los recursos naturales (2023, 11-12). Este tipo de análisis no permite incorporar integralmente la estimación de las transformaciones en los procesos biofísicos del medio ambiente y se centra en la valuación contable<sup>6</sup> del capital natural como activo en términos de su incidencia en las actividades económicas respecto de los precios de mercado de la tecnología y la escasez o abundancia de recursos naturales. Además, su interés por tratar de minimizar o revertir los daños de la degradación ambiental se desprende de las afectaciones negativas que ésta puede ejercer sobre la eficiencia económica, la productividad y la trayectoria del crecimiento económico. Es decir, expresa una visión utilitarista del medio ambiente porque, dadas las necesidades de la acumulación capitalista, instrumentaliza en términos de valor monetario a los recursos naturales.

Es más, su andamiaje teórico-económico ha sido útil en la promoción de las propuestas de los mercados de carbono<sup>7</sup> o de compensaciones de biodiversidad<sup>8</sup> que son funcionales al sostenimiento de la producción ampliada en la que se basa la acumulación capitalista y su idea de progreso. Ello a pesar

---

<sup>6</sup> En referencia a los sistemas contabilidad económica ambiental y su inclusión en la estadística de la contabilidad nacional.

<sup>7</sup> Estos se relacionan con el diseño de los mercados de emisiones en los que se establecen esquemas de fijación de precios para los GEI – como es el caso particular del  $CO_2$  – y los niveles máximos de emisión que se negociarán (de manera obligatoria o voluntaria) entre actores que pueden ser países, empresa y particulares. Aunque se supone que uno de sus objetivos es encarecer las emisiones y, a partir de ello, favorecer las inversiones, las innovaciones y el desarrollo tecnológico que permitan reducir emisiones de forma sustancial, en la realidad su aporte a la lucha contra el cambio climático ha sido mínima y su metodología de operación está sujeta a diversas críticas. Entre ellas, una de las más importante tiene que ver con el Greenwashing de los países desarrollados y las multinacionales cuyas metas de emisiones de corto plazo no son compatibles con la urgencia de lograr la neutralidad de emisiones hacia 2030 (Banco Mundial, et. al. 2021; New Climate Institute and Carbon Market Watch, 2024).

<sup>8</sup> Algo similar a los mercados de carbono sucede en las compensaciones por pérdida de biodiversidad en los ecosistemas terrestre, marino o de agua dulce que se desarrollaron para atajar los impactos residuales (las afectaciones que persisten después de las prácticas o estrategias de mitigación) de algún proyecto –por ejemplo en los proyectos de infraestructura, de minería o en el sector de la energía- y donde se trata de alcanzar una pérdida nula o una ganancia que aseguren una pérdida de biodiversidad neta cero. Son mercados de créditos en bancos creados expreso (bancos de hábitat o los fondos de agua) que operan asociando a un proyecto una cantidad determinada de créditos que representan un valor específico de recursos naturales a conservar en algún lugar distinto al del proyecto original. Sin embargo, a pesar de la existencia de estos mecanismos de mercado para la conservación de la biodiversidad las tasas de deforestación siguen aumentando y los cambios en el uso del suelo relacionados con la demanda de alimentos en el mundo simplemente no se detienen (López y Quintero, 2015; Alonso, et. al. 2020; PNUD-BIOFIN, 2020; WWF, 2022).

de que el consumo material de bienes, servicios y energía se traduce, como demuestran Spash y Ryan, en una destrucción incesante de la naturaleza que “viola los límites biofísicos de las escalas de lo local a lo regional y hacia lo internacional” (2023, 37). Lo cual tiene graves implicaciones socioambientales porque de la estabilidad, la sostenibilidad y la resiliencia del Sistema Tierra y de los procesos de interacción físicos, químicos y biológicos entre sus esferas (la criosfera, la hidrosfera, la geosfera y a biosfera) dependen no solo las actividades económicas, sino el bienestar de todas las especies (Nakicenovic, et al, 2016; Rockström, et al. 2023). Condición que hoy está en riesgo debido a que desde la revolución industrial a la fecha se han trasgredido seis de los nueve límites planetarios<sup>9</sup> que sostienen esos procesos de interacción: el clima, la biodiversidad, la disponibilidad de agua dulce, los usos de la tierra, los ciclos biogeoquímicos y los materiales y las sustancias novedosas (microplásticos, contaminantes orgánicos sintéticos, organismos genéticamente modificados y los nanomateriales, entre otros), y cuyos efectos disruptivos están alterando los equilibrios y los intercambios energéticos en el sistema tierra (Rejesky, et al. 2018; Richardson, et al.2023).

Por ello, estos dos autores hacen un planteamiento mucho más estructurado para analizar el concepto de crecimiento económico y reorientar la ciencia económica en términos socio-ecológicos que pasa varios momentos: 1) reconocer las insuficiencias del pensamiento económico respecto del abordaje de las crisis sociales y ecológicas; 2) llevar a cabo una transformación socio-ecológica radical del sistema actual de acumulación de capital; 3) reformar a la ciencia económica para enfatizar el estudio no solo del capitalismo, sino de la amplia variedad de sistemas de aprovisionamiento socio-ecológico (Spash and Ryan, 2023).

Ambos autores proponen una construcción analítica integradora de la relación entre el sistema económico y el medio ambiente reconociendo que, en las

---

<sup>9</sup> Los nueve límites planetarios son: cambio climático; sobrecarga de materiales y sustancias novedosas (contaminación química y por plásticos); agotamiento del ozono estratosférico; carga de aerosoles atmosféricos; acidificación oceánica; interferencia en flujos biogeoquímicos; cambio de agua dulce; cambio del sistema terrestre y cambio en la integridad de la biosfera. Sobre el particular puede consultarse *Planetary Boundaries- Defining a safe operating space for humanity* del Postdam Institute for Climate Impact Research (2023).

sociedades organizadas para reproducirse en función de las necesidades de la acumulación de capital, en economías capitalista o de capitalismo de Estado, lo que sucede es que “el crecimiento en la extracción de reservas de recursos primarios...en la biosfera son fundamentalmente insostenibles” (2023, 37). En estricto sentido cuestionan la concepción de un progreso que implica crecer infinitamente a través de satisfacer las demandas de energía, de producción y consumo, y que sólo puede ser valorado en términos monetarios por los mercados, condición que deja de lado la urgencia por construir economías compatibles con los equilibrios naturales de la vida y con la conservación de los stocks de recursos naturales (Newell, 2023). Bajo esa perspectiva, la relación economía y medio ambiente no puede entenderse sin cuestionar la acumulación capitalista y las premisas del crecimiento expresada en el comportamiento del PIB como medida del progreso. Es decir, plantean la necesidad de desarrollar una nueva concepción de las relaciones socioambientales y económicas que para ser viables tienen que respetar los límites biofísicos del planeta, pues sólo así se puede garantizar la sostenibilidad del entorno ambiental, la viabilidad de un subsistema económico y la supervivencia de las diferentes formas de vida que habitan el planeta.

Ese razonamiento refuerza los planteamientos del ecosocialismo o del *degrowth* en los que no se pueden entender el desarrollo económico y las posibles soluciones a la crisis climática actual si no se respeta el presupuesto de recursos de la tierra -energéticos y naturales- con respecto a los rendimientos físicos posibles y, por lo tanto, es a partir de su consideración como se pueden diseñar y estructurar estrategias económicas de desarrollo humano y ambiental sostenibles en las que se tome distancia de la lógica extractivista actual y los patrones de consumo del capitalismo, tanto el que manifiesta de manera suntuaria el 1% más rico del planeta, que además genera las mayores emisiones de GEI, como el del resto de la población que influenciada por diversos medios aspira a consumir masivamente.

Desde una idea de civilización ecológica, el desarrollo económico y tecnología no se conciben como simples medios para maximizar la fabricación de armamentos para las potencias o de bienes suntuarios y de lujo para el 1% de la población del planeta más poderosa económicamente, sino como medios para

la producción de alimentos, la creación de empleos, el mejoramiento de los sistemas de salud, el desarrollo de medios de transporte masivos basados en la electromovilidad y la fabricación de bienes para satisfacer las necesidades humanas de los grupos de la población mayoritarios, evitando el desperdicio y el dispendio de recurso energéticos y biológicos. Lo que también implica avanzar hacia una redistribución del excedente que favorezca la conformación de sociedades igualitarias y en pleno equilibrio con el medio ambiente donde la idea de progreso no puede asociarse a un crecimiento económico sin límites (Turner, 2012; Victor, 2016; Bellamy, 2023).

## **2.- El mix energético en el mundo y la demanda de electricidad.**

Las transformaciones en las prácticas productivas de finales del siglo XVIII que emergieron con la revolución industrial fueron cambiando en los siglos XIX y XX con los nuevos avances técnicos e innovaciones de procesos y productos, los cuales se acompañaron de una demanda creciente de energía primaria que debía transformarse para su uso final como soporte de estos. Al cambio técnico del taller de los artesanos a la industria mecanizada, que favoreció la producción masiva, siguieron nuevos desarrollos con el uso de los polímeros, el aluminio y el silicio destinados a la fabricación de conductores, semiconductores y sensores cuya aplicación en la electrónica, la computación y los procesos de planta dieron origen a la industria automatizada. En ésta la flexibilidad y la escalabilidad de la producción impulsaron el aumento de la productividad y contribuyeron a la reducción de los costos, condiciones indispensables de supervivencia empresarial en un mundo de negocios globales y cambiantes en el que la competencia entre grandes multinacionales para hacerse de materias primas, mercados y consumidores es la característica principal. En este contexto, se empezó a hablar del Internet de las cosas, la robótica, la ciberseguridad, el almacenamiento de datos y un largo etcétera (Restrepo, 2023; Datisation, 2022; Datisation, 2021; Lindström, et. al, 2006).

Ahora bien, los ciclos de cambios técnicos, de investigación y desarrollo que llevaron hasta la aplicación de los sistemas de software no sólo en la producción, sino en la logística, el almacenaje y el comercio pasaron por la sustitución en el consumo de fuentes de energía primaria: de la madera, al carbón, al petróleo, al

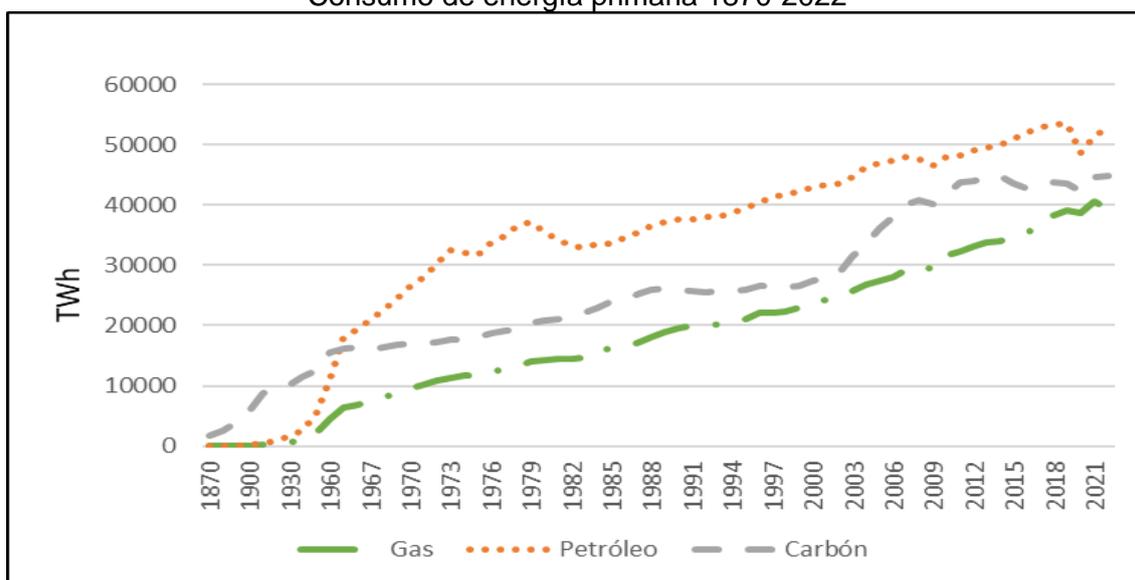
gas y a los minerales radioactivos. Así, en el período que comprende de la revolución industrial hasta los inicios de la tercera década del siglo XXI, el comportamiento de los combustibles fósiles dentro del consumo de energía primaria muestra una tendencia ascendente y alcanza poco más del 80% de la energía primaria utilizada globalmente, sin embargo, desde la primera década del siglo XXI el consumo de petróleo y el gas se hace a tasas decrecientes, mientras el carbón comenzó a decrecer a partir de 2010.<sup>10</sup>

Si bien es cierto, los sistemas de energía global siguen cimentados en el consumo de energía primaria fósil y en la generación eléctrica también predominan los combustibles fósiles como el carbón y el gas, en las últimas décadas se ha visto el avance de las fuentes de energía renovables como la energía hidráulica, la eólica, la solar, la geotérmica y la biomasa, sin dejar de lado el aporte que la energía nuclear ha hecho a la generación de energía eléctrica desde los años 60 del siglo XX y que podría aumentar en la medida en que se acelere el desarrollo tecnológico de los reactores modulares pequeños y medianos (SMR, por sus siglas en inglés). Éstos tienen una capacidad de potencia de hasta 300 MW y por sus características, como su nombre lo indica, son de dimensiones reducidas, ensamblables, y de ingeniería modular avanzada que los hace no solo más baratos y de más rápida construcción e instalación, sino con mayores posibilidades de ubicación en lugares donde sería poco probable construir centrales nucleares tradicionales con reactores grandes de más de 700 MW (Gráficas 1 y 2).

---

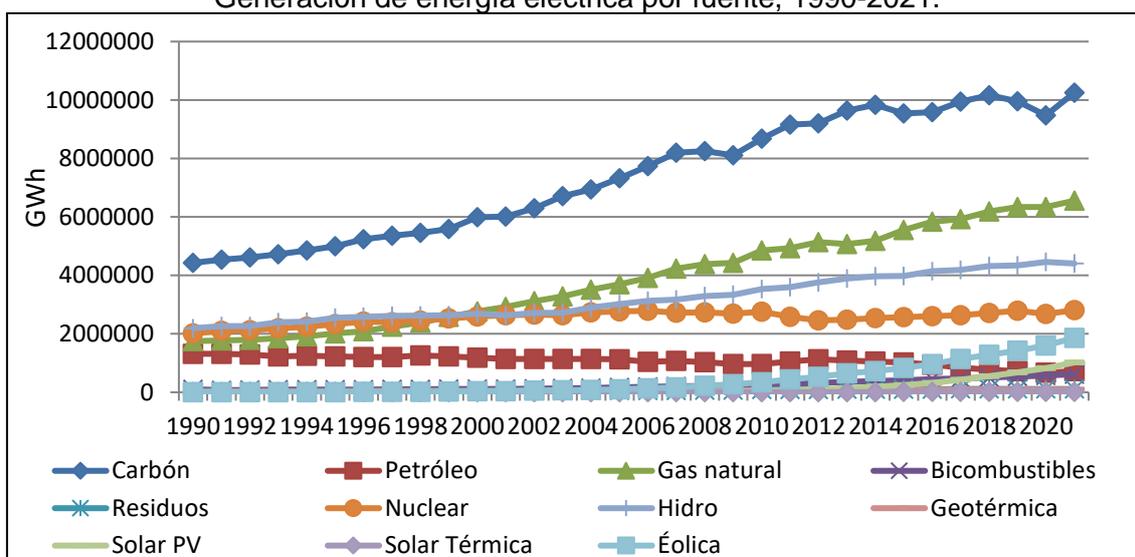
<sup>10</sup> Sin embargo, el estallido de la guerra entre Rusia y Ucrania a inicios de 2022 impulsó el consumo de carbón para la generación eléctrica en Europa.

Gráfica 1.  
Consumo de energía primaria 1870-2022



Fuente: OWID (2024a) con datos de Energy Institute (2023).

Gráfica 2  
Generación de energía eléctrica por fuente, 1990-2021.

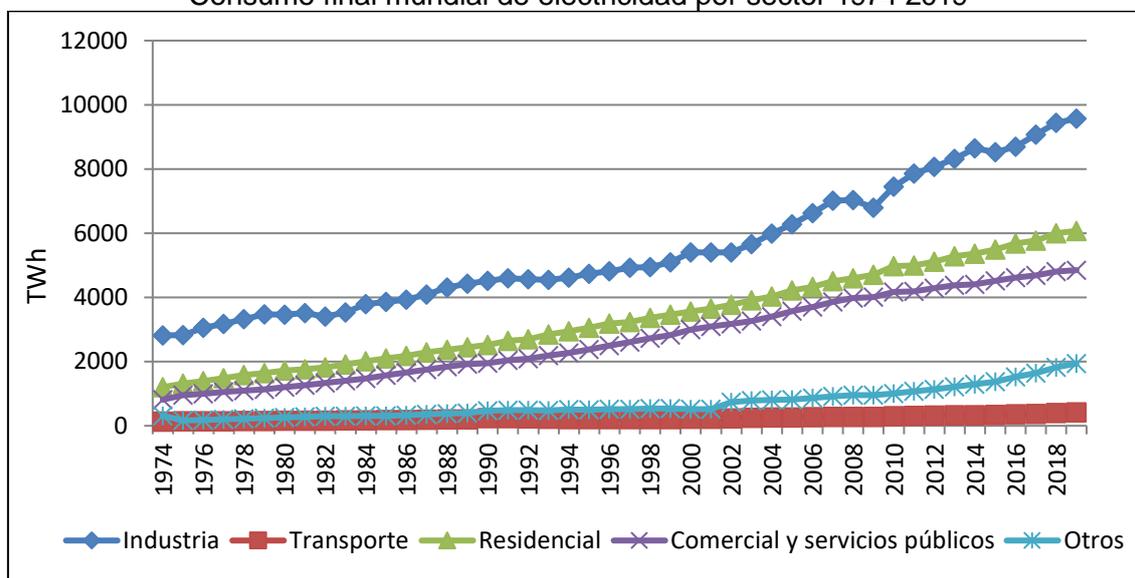


Fuente: IEA (2024a). Electricity Information. Electric Generation by Source.

Además de la búsqueda de la soberanía y la seguridad energéticas, los objetivos más importantes en la diversificación de las fuentes del mix energético son: primero, asegurar que la demanda para el consumo final de energía sea satisfecha en todo momento en los sectores que lo requieren como la industria, el comercio, el transporte y los usos residenciales; segundo, acelerar la sustitución de fuentes de energía convencionales para acometer más rápido la descarbonización, reducir los costos de la generación de energía eléctrica y con ello tratar de contribuir al logro de las metas globales del Acuerdo de París. El

problema que aquí prevalece es que lógica de un desarrollo que pretende un crecimiento económico ilimitado obliga a mantener un soporte para el consumo de energía eléctrica en los diferentes sectores que es insostenible en términos ambientales (Gráfica 3).

Gráfica 3.  
Consumo final mundial de electricidad por sector 1974-2019



Fuente: IEA (2024b). Electricity Information. World electricity final consumption by sector.

Por ello los esfuerzos para desarrollar tecnologías con las los cuales aumentar la generación mundial de energía eléctrica, la cual pasó de 21 533 TWh en 2010 a 29 033 TWh en 2022, con proyecciones de hasta 35 802 TWh y 53 985 TWh en 2030 y 2050, respectivamente. Lo que significa un incremento del 34% entre 2010 y 2022, del 66% si se toma como referencia el período de 2010 a 2030, cifra que crece hasta el 151% si consideramos el período de 2010 a 2050 (IEA, 2023). Es decir, aumentar la generación de energía eléctrica es un imperativo para poder satisfacer la demanda y el consumo de electricidad que sostienen las posibilidades de expansión de la producción capitalista, pero ello nos enfrenta al dilema de si debemos buscar y/o podemos alcanzar mayores tasas de crecimiento económico a costa de utilizar volúmenes de energía<sup>11</sup> y recursos naturales más allá de los límites biofísicos del planeta porque ello nos conducirá

<sup>11</sup> Lo que podría ser menos dañino con el medio ambiente si se acompañara de una menor intensidad energética, indicador de eficiencia energética que se define como el consumo de energía requerido para producir una unidad del PIB, pero que no resuelve el problema del hambre energética que caracteriza a la concepción de desarrollo imperante.

a desastres climáticos peores de los que ya se observan y que harán inhabitables amplias regiones de la tierra.

### **3.- Cambio climático y tecnologías de generación eléctrica en México.**

Las metas del Acuerdo de París para tratar de mantener la temperatura mundial por debajo de los 2°C y preferentemente estabilizarla en 1.5°C (2.7°F)<sup>12</sup> están palideciendo en la medida en que tan solo en 2023 la temperatura media anual del planeta estuvo  $1,45 \pm 0,12$  °C por encima de los niveles preindustriales (1850-1900), tendencia que de no revertirse significará romper las metas del Acuerdo con las afectaciones inmediatas y mediatas que ello tendrá no solo para a el funcionamiento de la economía, sino principalmente para las condiciones climáticas que permiten la vida en el planeta (WMO, 2024). Es decir, nos estamos acercando a un punto de no retorno porque los efectos de la crisis climática, una vez superados los niveles de seguridad en términos de temperatura global, significarán ahondar los problemas de desigualdad entre países ricos y pobres, de pérdida de derechos de la mayoría de la población del planeta (al agua, a un medio ambiente sano, a la alimentación, a la salud), de desplazamiento y migración de personas y animales y de desaparición de ecosistemas y especies por deforestación y destrucción de hábitats, entre muchos otros.

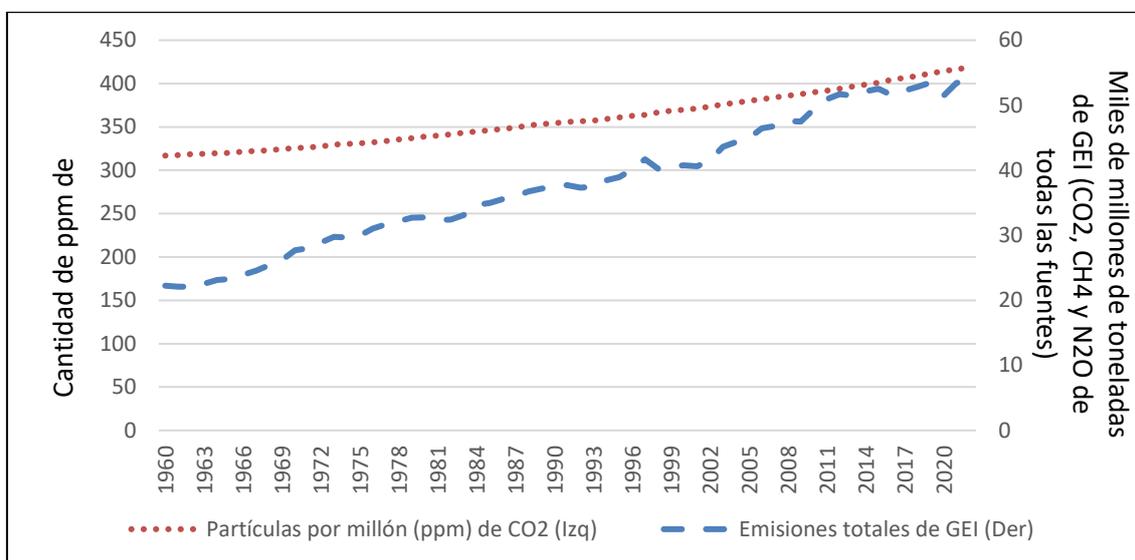
En ese contexto, en 2021 las emisiones globales de GEI medidas en toneladas de Dióxido de Carbono equivalente ( $CO_{2e}$ ) fueron de 54.59 miles de millones de toneladas y México contribuyó con 807.4 millones de toneladas, 1.4% del total en las que se incluyen las emisiones de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), Metano ( $CH_4$ ), de Oxido Nitroso ( $N_2O$ ) y de gases fluorados (OWID, 2024b). Ahora bien, las emisiones globales de GEI de los 82 años más recientes, es decir entre 1960 y 2022, han crecido en términos absolutos en 31.61 miles de millones de toneladas al pasar de 22.24 a 53.85 miles de millones de toneladas. Concomitantemente, las partículas por millón (ppm) de  $CO_2$  en la atmosfera

---

<sup>12</sup> De acuerdo con los datos de Berkeley Earth, noviembre de 2023 fue el mes más cálido desde que se empezaron a registrar las temperaturas globales en 1850, de hecho, la temperatura ese mes fue de  $1.77^\circ\text{C} \pm 0.12^\circ\text{C}$  ( $3.18 \pm 0.22$  °F) arriba del promedio de 1850-1900 (<https://berkeleyearth.org/november-2023-temperature-update/>). Esto parecería indicar que las acciones tomadas por los países para estabilizar la temperatura y detener el calentamiento global no están siendo lo suficientemente efectivas.

crecieron de 316.91 a 418.53 en promedio, es decir aumentaron 101.66 ppm en promedio en ese mismo período <sup>13</sup>, con el potencial de calentamiento de la atmósfera que esa concentración tiene<sup>14</sup> (Gráfica 4).

Gráfica 4  
Emisiones globales de GEI y ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera



Fuente: NOAA (2024). Climate. Gov. y OWID (2024b). Greenhouse Gas Emissions.

En relación con las fuentes de emisión tanto a nivel mundial como nacional el sector de la energía es de los que más contribuyen a la emisión de GEI, particularmente el CO<sub>2e</sub>, y donde el principal aporte proviene de la generación energía eléctrica ya que hasta hoy su mayor parte más se produce utilizando combustibles fósiles (carbón y gas) que contabilizan el 82% del total de la energía primaria utilizada y generan el 75% del total de las emisiones globales de GEI (Energy Institut, 2023; OWID, 2024b).

Específicamente, en 2021 en México se emitieron 714.04 millones de toneladas de CO<sub>2e</sub> de GEI, de ese total el sector de la energía contribuyó con el 62% y la producción de electricidad 20% lo que ubica al sector en la misma tendencia mundial como uno de los principales emisores de GEI (INECC, 2021)<sup>15</sup>. De ahí la importancia de las estrategias y las políticas públicas de mitigación incluidas

<sup>13</sup> De acuerdo con los datos de la NOAA (2024).

<sup>14</sup> Condición que se agrava si se incluyen las concentraciones atmosféricas de Metano y Óxido nítrico.

<sup>15</sup> Los datos de la emisión de GEI se actualizan de acuerdo con el Artículo 74 de la Ley General de Cambio Climático.

en la más reciente actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional, que en el caso de la generación eléctrica incluye tres líneas de acción específicas: “a) la integración de la energía limpia en la generación eléctrica; b) la sustitución de combustibles de alto contenido de carbono por gas natural en centrales de alta eficiencia; y, c) la reducción de las pérdidas técnicas de la red eléctrica” (SEMARNAT-INECC, 2022, 12). El principal objetivo de esas acciones es acelerar la transición energética mediante la transformación tecnológica del mix de generación para tratar de alcanzar la reducción del 35% de GEI hacia 2030, y en un escenario más optimista, pero que requerirá mayores esfuerzos financieros, tecnológicos y de cooperación internacional, llegar al 40% ese mismo año.

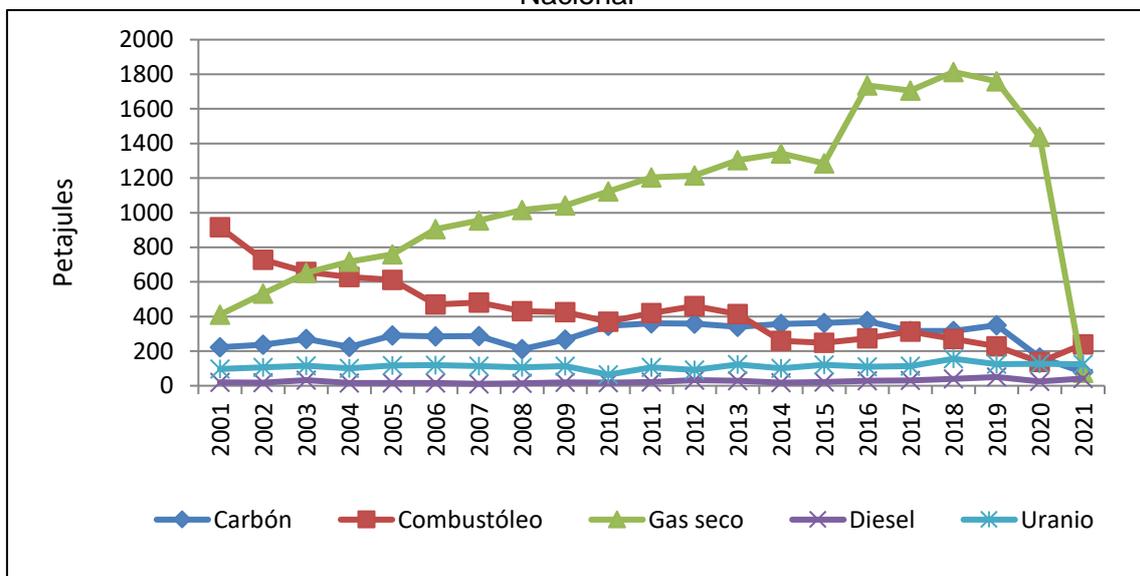
### **3.1.- Generación de energía eléctrica y tecnologías de generación.**

En parque eléctrico nacional está compuesto en el rubro de generación por dos tipos de empresas: la que corresponde a una empresa pública, con carácter de empresa productiva del Estado, y un grupo de empresas privadas de capital nacional y extranjero. El consumo de combustibles (insumos energéticos primarios) para la producción de energía eléctrica del sistema eléctrico nacional incluye, por orden de importancia, al gas seco, el combustóleo, el carbón, seguidos del uranio y el diésel. Es decir, todavía predominan las fuentes de energía primaria fósil o de residuos de la refinación del petróleo como el combustóleo o el diésel, los cuales se han utilizado más después de 2020. Respecto del uranio, elemento químico radiactivo natural cuya densidad energética, después de someterlo a un proceso de enriquecimiento,<sup>16</sup> lo hace útil en la generación eléctrica, se debe mencionar que su consumo interno es reducido y estable, pues en México a diferencia de otros países solo se cuenta con una nucleoelectrica donde operan dos reactores con una capacidad instalada de 820 MW cada uno. A las fuentes de energía primaria mencionadas se añaden el agua, el aire y el sol, estas dos últimas todavía limitadas en la generación de energía eléctrica debido a su condición de intermitencia (SENER, 2012) (Grafica 5).

---

<sup>16</sup> El proceso consiste, acuerdo con la IAEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), en la separación mediante fuerza centrífuga de los elementos del concentrado de uranio hasta “aumentar la proporción del isótopo U 235 del 0,72 % hasta, como máximo, el 94 %”.

Grafica 5.  
Consumo de combustibles para la generación de electricidad del Sistema Eléctrico Nacional



Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT (2013) y SENER (2023a).

A principios de la década de los años 90 del siglo XX se tenía una generación bruta 122 749 GWh de los cuales el 93.0% correspondía a Comisión Federal de Electricidad y a Luz y Fuerza del Centro (90% de CFE y % 3% LyFC) y a los productores privados el 7.0%. Las tecnologías de generación utilizadas eran las siguientes: termoeléctrica (61.2%), hidroeléctrica (19.0%), carboeléctrica (6.3%), geotermoeléctrica (4.1%), nucleoeeléctrica (2.3%) y generación privada (6.8%). Es decir, el 74.3 % de la electricidad se generaba con energía fósil y el restante 25.7% provenía de fuentes renovables en las hidroeléctricas y las geotermoeléctricas, y una pequeña parte de limpia no renovable de la planta nucleoeeléctrica del país.

Para el comienzo de la primera década del siglo XXI, en el año 2000 se mantenía la composición institucional del mercado, por una parte, las empresas paraestatales CFE y LyFC y, por otra parte, Pemex con empresas privadas en cogeneración y autoabastecimiento.<sup>17</sup> Ese año la generación fue de 209 943 GWh, y el principal cambio en la composición de las tecnologías de generación se dio con la introducción de 1994 de la generación eólica. Así, la participación

<sup>17</sup> En 2009 el mercado eléctrico se modificó, pues el Poder Ejecutivo declaró la extinción de LyFC con lo que la operación de la región centro del país, incluida la CDMX, quedó a cargo de la CFE.

de las diferentes tecnologías de generación era la siguiente: termoeléctrica (62.2%), hidroeléctrica (17.3%), carboeléctrica (12.4%), geotermoeléctrica (3.3%) y nucleoeeléctrica (4.9%). En ese año la generación eoloeléctrica era del 0.003%, una participación pequeña que en los años posteriores aumentaría como resultado de la reducción de los costos de las inversiones en este tipo de tecnologías. Por su parte, los proyectos fototérmicos y fotovoltaicos se encontraban en etapas muy iniciales en el sector público (en sistemas de calentamiento de agua, electrificación de algunos albergues y algo de electrificación doméstica rural) y el sector privado (reducidos sistemas fotovoltaicos en el país para satisfacer pequeñas cargas distribuidas). Entonces, el 74.6% de la electricidad generada se debía a energías fósiles y el 25.4% a limpia renovable y a limpia no renovable.

En 2022, la generación de energía alcanzó 340 712.7 GWh, la generada por CFE y Productores Independientes de Energía (PIE`s) fue de 68.88%, a Pemex correspondió el 0.33% y a generadores privados el 30.79%. Por tipo de tecnología la generación eléctrica fue: hidroeléctrica (14.5%), geotermoeléctrica (1.1%), oleoeléctrica (7.9%), fotovoltaica (7.5%), bioenergía (0.5%), nucleoeeléctrica (1.8%), cogeneración eficiente (2.6%), térmica convencional (13.0%), turbogás (4.4%), combustión interna (0.8%) y carboeléctrica (6.3%). De ahí que la generación debida a combustibles fósiles alcanzara 68.8% y las limpias renovables y no renovables el 31.2% (Cámara de Diputados, 1999; Cámara de Diputados, 2001; SENER, 2023b).

De las cifras anteriores se desprende que entre 1990 y 2022 la tecnología de generación hidroeléctrica redujo su participación en la generación total del 19.0% a 14.5%, lo que significó una caída del 23%, mientras las renovables no convencionales, como la eólica, la solar, la biomasa y la geotermia han crecido de manera importante. La generación eólica aumentó de forma muy rápida, fue la primera renovable limpia que comenzó a producir electricidad en 1994 cuando participó con el 0.003% de la generación total y para el 2022 llegaba al 7.9%. Por su parte, producción de electricidad de origen fotovoltaico también era marginal y en 2015 sólo generaba 190 GWh, equivalentes al 0.06% de la generación bruta total que ese año fue de 316 566.6 GWh. Sin embargo, fue con

la puesta en operación del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)<sup>18</sup> que a partir de 2016 aumentó aceleradamente su producción para alcanzar 20 342.0 GWh de un total generado de 340 712.7 GWh en 2022. Es decir, en 7 años incrementó su aporte de electricidad del 0.06% al 5.9% de total. A lo que se suma la contribución del resto de las renovables limpias y de las limpias no renovables como la nucleoelectrica y la cogeneración eficiente.

Considerando el total de la generación limpia que ese año alcanzó los 106 171 GWh, las renovables totales (hidráulica, minihidráulica, geotérmica, eoloelectrica, fotovoltaica y bioenergía) sumaron 82 983.6 GWh y las limpias no renovables totales (nucleoelectrica, frenos regenerativos, cogeneración eficiente, energía libre de combustible fósil, energía adicional para enfriamiento auxiliar y baterías) 23 187.4 GWh (Secretaría de Economía, 2017; SENER, 2012; SENER, 2023b).<sup>19</sup> Además, la generación eléctrica proveniente de tecnologías que utilizan energías fósiles se ha reducido, pues mientras en 1990 su participación era del 74.3%, con un ligero aumento en el 2000 que las ubicó en 74.6% del total generado, a partir de ahí empezó a caer su participación para llegar en 2022 al 68.8% del total. Es decir, en 32 años se redujo 7% la generación eléctrica que utiliza energías fósiles frente al aumento de las tecnologías de generación limpias (renovables y no renovables) que en 2022 alcanzaron el 31.2% de la generación de energía eléctrica bruta total con una capacidad instalada de 31 954 MW, un incremento de 109% respecto de 2023 (IRENA, 2023a).

### **3.2.- Factores para el cambio en las tecnologías de generación de energía eléctrica.**

Son diversos los factores que deben tomarse en cuenta en los procesos de planeación del sistema eléctrico nacional, entre ellos, el crecimiento económico

---

<sup>18</sup> La entrada en operación para la producción de potencia (despacho económico) de cada generador del MEM quedó vinculada al costo variable de la energía primaria utilizada en la central correspondiente, lo que dio una amplia ventaja económica a las energías renovables y favoreció, por los altos niveles de ganancia esperada en el sector, el boom de las inversiones en proyectos fotovoltaicos.

<sup>19</sup> Una crítica a la clasificación de las tecnologías limpias no renovables es que a partir del Acuerdo A/0018/2023 de la CRE se incluye en la Cogeneración Eficiente a centrales (por ejemplo, Ciclo combinado, Termoeléctrica Convencional o Combustión Interna) que por utilizar combustibles fósiles no deberían incluirse en ese rubro.

del que ya se habló en la primera parte y que en términos de la ciencia económica hoy se sigue entendiendo como el aumento de la producción de bienes y servicios finales, condición que significa sostener y/o incrementar en el tiempo el consumo de recursos naturales y energía.<sup>20</sup> Otros son los cambios demográficos y el aumento de la población que, al modificar los patrones de consumo energético, obligan a ampliar la infraestructura social, urbana e industrial, y ello requiere adiciones a la capacidad instalada de generación a fin de garantizar que disponibilidad inmediata energía eléctrica.

Pero de la mayor importancia están las consideraciones respecto de los objetivos internacionales en materia de combate al cambio climático del Acuerdo de París que obligan a los países, por una parte, a establecer metas de corto y mediano plazo en la forma de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional respecto de la emisión de GEI y, por otra, a realizar mayores inversiones en tecnologías de generación más amables con el medio ambiente.<sup>21</sup> Finalmente, están los desarrollos científicos y las innovaciones que han mejorado la eficiencia energética y al mismo tiempo han reducido los montos de inversión y los costos de las tecnologías de generación, lo que es muy evidente en los sistemas eólicos y fotovoltaicos. Tomando en cuenta esos elementos se realiza la planeación respecto de las nuevas inversiones en capacidad instalada e infraestructura de generación a fin de garantizar un margen de reserva<sup>22</sup> que asegure la calidad y confiabilidad del suministro de energía eléctrica, con tarifas accesibles.

De esa manera se pueden atender la demanda y el consumo de los diferentes sectores (gran industria y empresa mediana, uso residencial, comercial, el sector

---

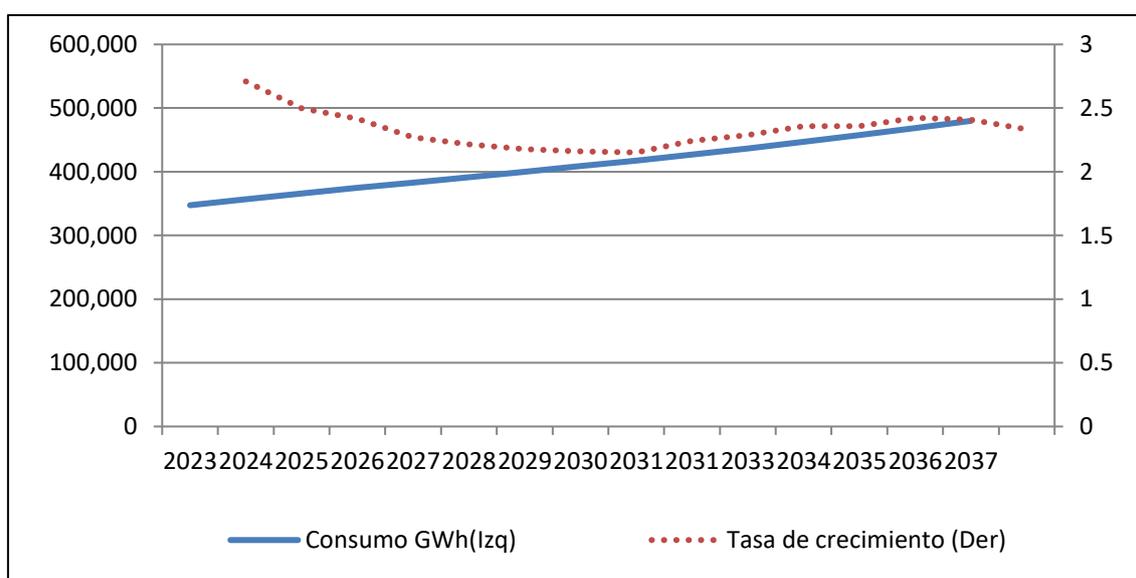
<sup>20</sup> Condición que no quiere decir que el bienestar derivado de un mayor desarrollo económico se reparta equitativamente entre toda la sociedad y sea sostenible en el tiempo.

<sup>21</sup> Otros factores son el precio de los combustibles, las tarifas, la estacionalidad de la demanda, el uso de tecnologías de generación en pequeña escala (generación distribuida < 500MW) e incluso la demanda para la carga de los vehículos eléctricos.

<sup>22</sup> Margen de Reserva es “es la diferencia entre la capacidad efectiva de generación del sistema y la demanda máxima o demanda pico en un periodo determinado. De acuerdo con este concepto, para satisfacer la demanda de energía eléctrica, la capacidad del sistema debe ser mayor que la demanda máxima anual (De Buen, 2018). El otro concepto clave para garantizar la satisfacción de la demanda de energía eléctrica es el de Margen de Reserva Operativo que se refiere “a la capacidad para atender la demanda máxima instantánea diaria del Sistema Interconectado Nacional y con ello garantizar su Confiabilidad, Continuidad y seguridad” (CENACE, 2021). Por su parte, la CRE define al margen operativo como la “Capacidad en MW de Centrales Eléctricas o Recursos de Demanda Controlable para incrementar su generación o reducir su consumo dentro de un lapso establecido, que combina Reserva Rodante y No Rodante” (CRE, 2021, 29).

servicios y bombeo agrícola) y de los usuarios finales que sumaron 47.4 millones en 2022, cifra que frente a los 22.9 millones de 1999 representa un aumento de 108%. En ese contexto, el pronóstico de consumo neto de energía eléctrica entre 2023 y 2036 es que éste pasará de 347 465 GWh a 479 987 GWh, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2.5% (Grafica 5) (Cámara de Diputados 2001; SENER, 2023b) (Grafica 6).

Gráfica 6. Pronóstico Regional de Consumo Neto 2023-2037.  
Escenario de Planeación



Fuente: Elaboración propia con base en (SENER, 2023b).

Ahora bien, la sustitución de tecnologías de generación convencionales que utilizan combustibles fósiles se viene acelerando debido a los compromisos climáticos de avanzar en la transición energética con estrategias de mitigación que ayuden a reducir la emisión de GEI, pero también por el abaratamiento de las inversiones y de los costos<sup>23</sup> de las tecnologías de generación limpias<sup>24</sup> renovables.

<sup>23</sup> Una medida fundamental en el cálculo de los costos de la generación de energía eléctrica son los Costos Nivelados de la Energía (LCOE, por sus siglas en inglés) que se refieren al costo promedio total en que se incurre al construir y operar una central eléctrica y dividirlo entre la energía total generada durante la vida útil del proyecto (García de Paredes, 2018).

<sup>24</sup> El concepto de energía limpias en la generación eléctrica, salvo la hidráulica, tendrían que evaluarse no sólo por las inversiones y el costo de los proyectos en operación, sino desde los efectos que en la naturaleza produce la explotación de los materiales y minerales críticos utilizados, por ejemplo, en la fabricación de los aerogeneradores, las placas o paneles solares y las baterías de almacenamiento de energía. Dado que la explotación de los materiales (acero, plomo o aluminio) y particularmente la extracción de minerales críticos (litio, disprosio, terbio,

Sin embargo, se debe tener en claro que para cubrir en todo momento la demanda y el consumo de electricidad -que varían a lo largo de un día dependiendo de las características asociadas a los sectores económicos que la consumen, las localidades geográficas y el clima- con la seguridad y calidad requeridas es necesaria la puesta en operación, en diferentes momentos y bajo determinadas circunstancias, de las distintas tecnologías de generación. Lo que expresa que hay una necesaria complementariedad entre las mismas.

De una parte, se tienen las centrales de generación convencionales como las térmicas a diésel, las térmicas a gas natural<sup>25</sup> de ciclo abierto o de ciclo combinado, las de turbogás o las carboeléctricas cuya flexibilidad, en el sentido de que técnicamente se puede regular su producción relativamente rápido, las hace más eficientes para cubrir las variaciones en la oferta de electricidad de las tecnologías renovables como la eólica y la fotovoltaica. El factor central en su contra es que utilizan combustibles fósiles en su operación y, por lo tanto, emiten de GEI (Óxidos nitrosos  $NO_x$  y Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )) por lo que existe una fuerte presión internacional y nacional para su sustitución.

En el terreno de la flexibilidad también pueden mencionarse las tecnologías de las centrales hidráulicas, ya sean de embalse o de pasada,<sup>26</sup> que, aunque en el origen tiene altos costos de inversión en obras de ingeniería, hidráulicas, maquinaria y equipos son totalmente amigables con el ambiente y pueden variar su producción de energía eléctrica rápidamente para ajustarse a la demanda de electricidad y complementar la de otras tecnologías. Uno de los factores que se ha vuelto limitante en la gestión de su entrada en operación es que su funcionamiento depende del caudal de los ríos, si son de pasada, o de la contención y el almacenamiento de agua, si son de embalse, lo que está condicionado por las precipitaciones pluviales, los escurrimientos y las tasas de evaporación. Por lo tanto, la variabilidad de los periodos de lluvia y sequía y las

---

neodimio, etcétera) son caros y contaminantes, el concepto de energía limpia debería ser repensado de una manera más amplia que considere los impactos ambientales de las tecnologías renovables previos a la puesta en operación de este tipo de proyectos.

<sup>25</sup> Estas están diseñadas para utilizar diésel en caso de no contar con gas natural.

<sup>26</sup> De manera muy sintética se puede decir que las de embalse operan con el agua de una presa que se hace pasar por turbinas acopladas a los generadores para producir energía eléctrica, en tanto que las de pasada siguen un principio similar sólo que en este caso únicamente desvían parte del caudal de los ríos que al accionan las turbinas hidráulicas y los generadores producen electricidad.

altas temperaturas derivadas del cambio climático están provocando que el aporte hidráulico anual que facilita su funcionamiento esté cada vez más comprometido.

Respecto de las tecnologías eólica y solar fotovoltaica con y sin almacenamiento de baterías, más la solar térmica, lo más relevante es que los desarrollos científicos y tecnológicos en materiales y componentes de fabricación (aspas con refuerzos de fibra de carbono en los aerogeneradores y sistemas modulares de celdas de silicio cristalino) de los años noventa del siglo XX hasta lo que va de la tercera década del siglo XXI hicieron caer los costos de los proyectos de este tipo de tecnologías. Tendencia que se revirtió parcialmente con la pandemia de COVID-19<sup>27</sup>, ya que sus efectos en las cadenas globales de producción resultaron en la escasez de componentes y materiales que elevó temporalmente los costos de estos proyectos (IRENA, 2023b). En este caso, la principal limitante es que debido a su intermitencia se requiere de baterías (las más usadas de iones de litio) y sistemas de almacenamiento que varían de minutos hasta horas (5 o 6). Sin embargo, la perspectiva tecnológica actual está centrada en el desarrollo de sistemas comerciales con una mayor capacidad de almacenar la energía (sistemas de larga duración de 8 horas o más con baterías de flujo) que posteriormente puede ser utilizada (CENACE, 2023; CNE, 2023).

En el extremo está la generación nucleoelectrica que tiene costos de inversión muy elevados y plazos de entrada en operación que pueden superar los 12 años, puede mantener su operación de manera constante y al manipular las barras de control del reactor se aceleran o disminuyen las reacciones de fisión lo que permite variar la cantidad de energía eléctrica producida. Además, si bien es cierto no emite GEI, sí produce algún tipo de residuos radiactivos<sup>28</sup> que requieren de tratamiento especial. Es de destacar que con la lucha contra el cambio

---

<sup>27</sup> Su efecto sobre las cadenas de suministro global hizo que se elevaran los precios de materiales, componentes y equipos en las empresas manufactureras del sector de las tecnologías de generación eléctrica renovable.

<sup>28</sup> Sobre el particular pueden consultarse los trabajos de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés) sobre la gestión de los diferentes tipos de desechos radiactivos y el combustible gastado de las centrales nucleares en el mundo. Estos se producen, entre otros, por la recarga de combustible o debido al mantenimiento de las centrales que resultan en desechos materiales contaminados. Éstos van desde Desechos de Actividad Muy Baja con una semidesintegración en periodos de menos de 5 años, Desechos de Actividad Intermedia y Desechos de Alta Actividad que tienen una semidegradación mayor a 30 años. En todos los casos se requiere una gestión altamente especializada (2022).

climático se ha puesto otra vez el acento en a la nucleoelectricidad como alternativa para reducir los GEI y con ello contender con los efectos ambientales, sanitarios, sociales y económicos del cambio climático.

Entonces si tomamos en cuenta, por una parte, la idea de crecimiento económico basada en la producción de bienes y servicios que pretende ser ilimitada y, por otra, las implicaciones en términos de consumo de recursos naturales y energía que se requieren para materializar esa idea tenemos una mejor comprensión de por qué la urgencia por desarrollar nuevas y más eficientes tecnologías de generación eléctrica. A fin de cuentas, no queremos parar de consumir energía a pesar de que ello nos lleve a comprometer las condiciones biofísicas y los límites naturales que histórica y ambientalmente has sustentado la vida en la tierra.

#### **4.- Conclusiones**

Los retos que hoy enfrentamos no solo son económicos, financieros o políticos, son más graves porque tienen que ver con cómo mantenemos la habitabilidad del planeta, lo que hace imprescindible enfrentar de manera radical el cambio climático para contener el aumento de las temperaturas globales. Por ello, y en la medida el sector energético es uno de los que más GEI emite, se está impulsado la transición energética a fin de que la producción de electricidad se haga preferentemente a partir de fuentes de energía no fósiles. Hasta aquí la narrativa parece lógica en el sentido de que hay que cambiar tanto el mix energético como el eléctrico, y en ese contexto el mundo hace su parte y México también al fomentar las inversiones en tecnologías de generación renovables y limpias que apuntalan las estrategias de mitigación en el sector eléctrico con el objetivo de reducir las emisiones globales y nacionales de GEI.

Sin embargo, sostener la concepción teórica y práctica de que el desarrollo económico se expresa por la cantidad de bienes y servicios producidos nos pone en una carrera de consumo de recursos naturales y energía interminable. La insostenibilidad de esa visión de desarrollo hace urgente realizar transformaciones más profundas, estructurales, que permitan cambiar el modelo de acumulación vigente y redefinir, como se hace desde el ecosocialismo, los conceptos de crecimiento económico y bienestar porque de no hacerlo es

improbable que se puedan modificar las interacciones extractivistas entre los sistemas socioeconómicos y el medio ambiente. Lo que significa retrasar el urgente desacoplamiento de las actividades económicas respecto del actual consumo de recursos energéticos y naturales biofísicamente irracional. No hacerlo nos acercará cada vez más a un colapso ambiental irreversible para la sostenibilidad de la vida en el planeta.

## **Bibliografía**

Agencia Internacional de Energía Atómica. (2022). Políticas y estrategias para la gestión de desechos radiactivos. Colección de Energía Nuclear. No. NW-G-1.1. OIEA, VIENA, 2022

Alonso, V., M. Ayala y P. Chamas. (2020). “Compensaciones por pérdida de biodiversidad y su aplicación en la minería: los casos de la Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú”, serie Medio Ambiente y Desarrollo, N° 167 (LC/TS.2020/26), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)

Banco Mundial, Partnership for Market Readiness & International Carbon Action Partnership. (2021). “*Comercio de Emisiones en la Práctica: Manual sobre el diseño e implementación de sistemas de comercio de emisiones*”. Segunda Edición. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial 1818 H Street NW Washington.

Bellamy, J. (2023). Planned Degrowth: Ecosocialism and Sustainable Human Development. *Monthly Review*, July-August, Volume 75, Number 3. <https://monthlyreview.org/2023/07/01/planned-degrowth/>

Berkeley Earth. (2023). *November 2023 Temperature Update*. <https://berkeleyearth.org/november-2023-temperature-update/>

Cámara de Diputados. (2001). *Evolución y Perspectiva del Sector Energético en México, 1970-2001*. Centro de Estudios de la Finanzas Públicas. CEFP/051/2001

\_\_\_\_\_. (1999). *Análisis de la propuesta de cambio estructural del Sector Eléctrico Mexicano: una visión económica*. (s/f). <https://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/se/SIA-DEC-01-1999.pdf>

CENACE. (2023). *Informe de la Tecnología de Generación de Referencia. Mercado para el Balance de Potencia*. Año de Producción 2022. Gobierno de México

\_\_\_\_\_. (2021). Matriz de indicadores para resultados del Pp E568 "Dirección, coordinación y control de la operación del Sistema Eléctrico Nacional" MIR – 2. Gobierno de México. <https://www.cenace.gob.mx/Docs/Transparencia/MIR/E568%20MIR%202021.pdf>

CNE. (2023). *Informe de Tecnología de Generación, Informe Anual*. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2023/05/ICTG-Mayo-2023.pdf>

Coase R. (1960). The problem of social cost, *Journal of Law and Economics*, Vol. 3, pp. 1-44

Constanza, R. and H. Daly. (1992). Natural Capital and Sustainable Development, *Conservation Biology*, Mar.Vol. 6, No. 1, 37-46

Constanza, R. and H. Daly. (1987). Toward and Ecological Economics, *Ecological Modelling*, 38. 1-7

CRE. (2021). *Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional*, Comisión Reguladora de Energía, Unidad Electricidad. Gobierno de México.

De Buen, O. (2018). CFE y la transición energética: "regrese mañana por favor". *Energía a Debate*. <https://energiaadebate.com/blog-2043/>

Datision. (2022). *7 tecnologías con las que debes contar para la automatización industrial*. <https://datision.com/blog/tecnologias-automatizacion-industrial/>

\_\_\_\_\_. (2021). *Aplicaciones del Business Intelligence en la industria*. <https://datision.com/blog/business-intelligence-industria/>

DOF. (2023). *Ley General de Cambio Climático*. Gobierno de México

Döhring, B., Atanas Hristov, Anna Thum-Thysen and Cristiano Carvello. (2023). *Reflections on the Role of Natural Capital for Economic Activity, European Economy*. Discussion Paper 180, European Commission Directorate-General for Economic and Financial Affairs, European Union.

Energy Institute. (2023). *Statistical Review of World Energy*, 72nd Edition.

García de Paredes, M. (2018). *¿Cómo calcular cuánto cuesta generar la energía eléctrica?* BIDInvest. <https://idbinvest.org/es/blog/energia/como-calcular-cuanto-cuesta-generar-la-energia-electrica>

Gómez-Baggethun, E y R. de Groot (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía, *Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. 16 (3): 4-14. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54016302.pdf>

IEA (2024a). *Electricity Information. Electric Generation by Source*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>

\_\_\_\_\_. (2024b). *Electricity Information. World electricity final consumption by sector, 1974-2019*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-final-consumption-by-sector-1974-2019>

\_\_\_\_\_. (2023). *World Energy Outlook*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/42b23c45-78bc-4482-b0f9-eb826ae2da3d/WorldEnergyOutlook2023.pdf>

INECC. (2021). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. 2020-2021*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>

IRENA. (2023a). *Renewable Energy Statistics*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA. (2023b). *Renewable power generation costs in 2022*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Lindström, F., V. Winroth., and M. Stahre. (2006). The Industry's view on automation in manufacturing, *IFAC, Proceedings Volumes*, Volume 39, Issue 4, 453-458

López, D. y J.D. Quintero. (2015). Compensaciones de biodiversidad: experiencias en Latinoamérica y aplicación en el contexto colombiano, *Gestión y Ambiente*, vol. 18, núm. 1, junio, Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia, pp. 159-177

Martínez Alier, J. (1998). *Curso de Economía Ecológica*, México D. F., Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Red de Formación Ambiental.

Napoleoni, C. (1981). *Fisiocracia, Smith, Ricardo, Marx*. Libros de Economía Oikos 23, España.

Naredo, J.M. (2003). *La economía en evolución: Historia y perspectivas de las características básicas del pensamiento económico*, 3ª ed. Siglo XXI de España, Madrid, España.

Nawadowski, P. (2011). La economía y el ambiente: Ortodoxias y heterodoxias para la aplicación al territorio, *Revista de estudios regionales y mercado de trabajo*, No. 7, 103-122

Nakicenovic, N., Rockström, J., Gaffney, O., and Zimm, C. (2016). *Global Commons in the Anthropocene: World Development on a Stable and Resilient Planet*. IIASA Working Paper. <http://pure.iiasa.ac.at/14003/>

New Climate Institute and Carbon Market Watch. (2024). *Corporate Climate Responsibility Monitor 2024. Assessing the transparency and integrity of companies' emission reduction and net-zero targets*. New Climate Institute

Newell, P. (2023). Economics as if ecology mattered, *Real-world Economics Review*, Issue no. 106, 5-12

NOAA. (2024). *Climate.Gov.Global Monitoring Laboratory. Earth System research Laboratories.*  
[https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2/co2\\_annmean\\_mlo.txt](https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2/co2_annmean_mlo.txt)

OWID. (2024a). *Fossil Fuels*. <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>

\_\_\_\_\_. (2024b). *Greenhouse gas emissions*.  
<https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions#article-citation>

\_\_\_\_\_. (s/f). <https://ourworldindata.org/energy-mix>

PNUMA. (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza - Síntesis para los encargados de la formulación de políticas*. [www.unep.org/greeneconomy](http://www.unep.org/greeneconomy)

PNUD-BIOFIN. (2020). *Sistema de créditos de Biodiversidad, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, ONU*.  
[https://www.biofin.org/sites/default/files/content/knowledge\\_products/Sistemas %20de%20cre%CC%81ditos%20de%20biodiversidad%2025092020.pdf](https://www.biofin.org/sites/default/files/content/knowledge_products/Sistemas%20de%20cre%CC%81ditos%20de%20biodiversidad%2025092020.pdf)

Postdam Institute for Climate Impact Research. (2023). *Planetary Boundaries-defining a safe operating space for humanity*. <https://www.pik-potsdam.de/en/output/infodesk/planetary-boundaries>

Rees, W.E. (2003). Economic Development and Environmental Protection: An Ecological Economics Perspective. *Environ Monit Assess* 86, 29–45.  
<https://doi.org/10.1023/A:1024098417023>

Rejesky, D., S. Leonard and Ch. Libre. (2018). Novel Entities and the GEF Background Paper, *Environmental Law Institute*. Scientific and Technical advisory Panel of the Global Environment Facility.

Restrepo, P. (2023). *Automation: theory, evidence, and Outlook*, NBER WORKING PAPER SERIES, Working Paper 31910, National Bureau of economic Research, Cambridge, MA 02138

Ricardo, D. (1959). *Principios de Economía Política y Tributación*. FCE, México.

Richardson K, Steffen W, Lucht W, Bendtsen J, Cornell SE, Donges JF, Drüke M, Fetzer I, Bala G, von Bloh W, Feulner G, Fiedler S, Gerten D, Gleeson T, Hofmann M, Huiskamp W, Kummu M, Mohan C, Nogués-Bravo D, Petri S, Porkka M, Rahmstorf S, Schaphoff S, Thonicke K, Tobian A, Virkki V, Wang-

Erlandsson L, Weber L, Rockström J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advance*. Sep 15;9 (37): eadh2458. doi: 10.1126/sciadv.adh2458. Epub, Sep 13. PMID: 37703365; PMCID: PMC10499318.

Ritchie, H., and P. Rosado. (2020a). “Energy Mix.” <https://ourworldindata.org/energy-mix> [Online Resource]

Ritchie, H., and P. Rosado. (2020b). “Electricity Mix” Published online at <https://ourworldindata.org/energy-mix> [Online Resource]

Rockström, J., Gupta, J., Qin, D. *et al.* (2023). Safe and just Earth system boundaries. *Nature* 619, 102–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>

Secretaría de Economía. (2017). *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México*, Secretaría de Economía, ProMéxico-Inversión y Comercio, Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit, GMBH

SEMARNAT-INECC. (2022). *Contribución Determinada a Nivel Nacional. Actualización, 2022*. Gobierno de México.

SEMARNAT. (2013). *Compendio de Estadísticas Ambientales 2013. Consumo de combustibles para la generación de electricidad del Sistema Eléctrico Nacional*.

[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet160a.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet160a.html)

SENER. (2023a). *Balance Nacional de Energía*. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energética. Gobierno de México.

\_\_\_\_\_. (2023b). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2023-2037. Gobierno de México.

\_\_\_\_\_. (2012). *Prospectiva del Sector Eléctrico, 2012-2026*. Gobierno Federal. México.

Spash, O. and Ryan, C. (2023). Reorienting economics to social ecological provisioning. *Real World Economics Review*, Issue. 106, 34-39

Turner, G. (2012). On the Cusp of Global Collapse? Updated Comparison of the Limits to Growth with Historical Data, GAIA, *Ecological Perspectives for Science and Society*, 2:116-23

Victor, P. (2016). *Growth*, in Demaria, F., Kallis, G., and G. D´alisa, *DEGROWTH: A Vocabulary for a New Era (E-Book)*, Routledge, New York

World Bank & Oxford University Press (1992). *World Development Report. Development and the Environment*. World Development Indicators. Washington, D.C., and New York.

WMO. (2024). *Confirms that 2023 smashes global temperature record*, <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2023-smashes-global-temperature-record>

WWF. (2022). Informe Planeta Vivo 2022. Hacia una sociedad con la naturaleza en positivo. Almond, R.E.A.; Grooten M.; Juffe Bignoli, D. y Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Suiza.