

NOTAS SUELTAS SOBRE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA*

ALEJANDRO DÁVILA FLORES**
MIRIAM VALDÉS IBARRA**
JOSÉ ANTONIO ROJAS NIETO***

** Centro de Investigaciones Económicas,
Universidad Autónoma de Coahuila
*** Facultad de Economía UNAM

RESUMEN

La problemática del consumo de energía primaria basada en combustibles fósiles y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero es innegable. Este fenómeno ha provocado un aumento de la temperatura global, generando una crisis climática que afecta no sólo a la naturaleza, sino también a la salud y la forma de vida de las personas. Además, existe una fuerte asimetría en términos de emisores y afectados: los países y hogares de altos ingresos son los principales emisores de emisiones, mientras que los países y hogares de bajos ingresos son los más afectados por los efectos negativos. Ante esta situación, la transición energética hacia tecnologías renovables y limpias se ha convertido en una necesidad urgente. Para alcanzar la meta de Cero Emisiones y limitar el aumento de temperatura, es fundamental adoptar una perspectiva de mediano y largo plazos. El artículo analiza algunos lineamientos esenciales –y los dificultades técnicas y económicos asociadas– que deberán contemplar las políticas de transición energética en el mundo y en particular en México.

ABSTRACT

The model of primary energy consumption based on fossil fuels and its impact on greenhouse gas emissions is undeniable. This phenomenon has caused an increase in global temperatures, generating a climate crisis that affects not only nature, but also the health and lifestyle of people. There is a strong asymmetry in terms of those who emit gases and those that are affected by them, where high-income countries and households are the former, while low-income countries and households are the latter. Given this situation, the energy transition towards renewable and clean technologies has become an urgent matter. To achieve the goal of Zero Emissions and reduce an increase in temperatures, it is essential to adopt a medium and long-term perspective. The article analyzes some essential guidelines -and the associated technical and economic-social difficulties- that energy transition policies in the world and particularly in Mexico ought to consider.

* Estas notas recogen algunas reflexiones sobre Transición Energética –efectos y perspectivas– presentadas en dos ensayos anteriores (Dávila Flores y Valdés Ibarra) y en algunas notas entregadas en *La Jornada* (Rojas Nieto). Se han complementado con una reflexión conjunta cuyas primeras resultantes se integran –a manera de notas sueltas– en este ensayo, ya de responsabilidad compartida por los tres autores.

Introducción

La problemática del consumo mundial de energía primaria basada en combustibles fósiles, y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero, es innegable. Este fenómeno ha provocado un aumento de la temperatura global, generando una crisis climática que afecta no sólo la naturaleza, sino también la salud y la forma de vida de las personas. Además, es importante destacar que existe una fuerte asimetría en términos de emisores y perjudicados, donde los países y hogares de altos ingresos son los principales emisores de emisiones, mientras que los países y hogares de bajos ingresos son los más dañados por los efectos negativos.

Ante esta situación, la transición energética hacia tecnologías renovables y limpias se ha convertido en una necesidad urgente. Con el objetivo de alcanzar la meta de Cero Emisiones a partir de 2050 y limitar el aumento máximo de temperatura a dos grados centígrados, es fundamental adoptar una perspectiva de mediano y largo plazos que integre tres lineamientos esenciales.

El primer lineamiento consiste en abordar la eficiencia energética de manera integral, considerando la creciente demanda mundial de energía eléctrica. Es necesario desarrollar tecnologías y políticas que permitan optimizar el consumo energético, reducir el desperdicio y promover prácticas sostenibles en la producción y uso de energía.

El segundo lineamiento se basa en la electrificación del consumo final, con el objetivo de transitar hacia un consumo energético más limpio. Esto implica impulsar el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables en sectores como el transporte, la industria y los hogares, promoviendo la adopción de tecnologías limpias y la implementación de infraestructuras adecuadas.

El tercer lineamiento se refiere a la descarbonización de la generación eléctrica, con el fin de tener una mezcla de generación más limpia. Esto implica reducir la dependencia de los combustibles fósiles en la genera-

ción de energía y promover el uso de fuentes renovables, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, entre otras.

1. Un concepto a debate

Con base en información de organismos especializados de las Naciones Unidas, de la Agencia Internacional de Energía (IEA, de la Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA), del Reporte Anual de Energía de British Petroleum (BPAR) y del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), entre otros, recordemos las dimensiones actuales –nivel y estructura– del consumo mundial de energía primaria en el mundo y de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero derivadas.¹ Y algunas de sus tendencias primordiales. Todo

1 En este ensayo hemos considerado los datos energéticos y de emisiones de cuatro fuentes primordiales. Los de la Agencia Internacional de Energía (IEA por las siglas en inglés de la International Energy Agency), que siempre son ligeramente superiores a las de otros organismos en la medida que consideran los datos de abasto energético primario derivados de fuentes no comerciales, básicamente la leña y otros biocombustibles, que en el caso de África prácticamente representan la mitad de la energía primaria disponible. También hemos consultado, para normar criterio, las publicaciones de la ONU, en particular la identificada como UNSD, por las siglas en inglés de United Nations Statistical Division. A diferencia de la IEA, los datos que proporcionan otras publicaciones como el *Anuario de British Petroleum (Statistical Review of World Energy)* corresponden a energía comercializada en el mundo. En el caso de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), siempre expresados en Millones de Toneladas de CO₂ equivalente, esa diferencia subestima un poco las emisiones mundiales de CO₂. Y no siempre, por cierto, se presentan las emisiones derivadas de otros procesos diferentes al abasto y consumo de energía primaria. Es el caso de las emisiones de CO₂ de otras formas de combustión, de procesos industriales, de la quema de gas natural, de las emisiones directas por fuga de metano. Así, por ejemplo, con los factores del Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), hemos estimado las emisiones “energéticas” de los datos fósiles de la Agencia internacional de Energía. Incluyen, como hemos señalado, la leña y otros biocombustibles “no comerciales”. Y a ellos hemos sumado las emisiones “no energéticas” que ofrece en su *Anuario de British Petroleum*. Así, consideramos que, en los años 2021 y 2022, las emisiones “energéticas” fueron del orden de 37 y 38 mil millones de

con la intención de mostrar algunos aspectos problemáticos de lo que sería una transición energética hacia un Balance Primario de Energía Limpia en el Mundo, vinculada a la desiderata –ya hoy oficial– respecto a un logro deseado para el año 2050, expresado no sólo en un balance negativo entre emisiones generadas y emisiones evitadas, sino también una nueva situación climática en el mundo que permita que la temperatura global no se incremente más de 1.5 grados centígrados respecto a los niveles mundiales preindustriales, justamente en el periodo que corre de nuestra actual situación a la vigente en el mundo en el año 2050.²

Sí, en nuestra perspectiva, el principal objeto de cambio y transformación en este ámbito de búsqueda de la limpieza ecológica en el mundo es, precisamente, lograr la superación de la “necesidad imperiosa” de satisfacer continua y permanentemente el volumen teóricamente necesario para que el mundo logre generar los bienes y servicios requeridos por la población. Y es que hoy esta población suma ya ocho mil millones de habitantes, y para el año 2050 podría llegar a poco más de 10 mil

toneladas de CO₂ equivalente. En tanto que, en el *Statistical Review of World Energy de British Petroleum*, la estimación es del orden de 33 y 34 mil millones de toneladas de CO₂ equivalente. Y hemos sumado a aquellas, otros cinco mil millones de toneladas por los procesos “no energéticos”. Con ello, nuestro total aparente es del orden de 42 y 43 mil millones de toneladas equivalentes de CO₂ totales, “energéticas” y “no energéticas”. Este es el número “a vencer” en los próximos 10, 15, 20, 30 y más años.

- 2 Las Naciones Unidas formulan así los objetivos al año 2050. Se trata de “reducir las emisiones de gases de efecto invernadero lo más cerca posible de cero, con las emisiones restantes reabsorbidas de la atmósfera, por ejemplo, por los océanos y los bosques. Asimismo, indican que la ciencia muestra claramente que, para evitar los peores impactos del cambio climático y preservar un planeta habitable, el aumento de la temperatura global debe limitarse a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales. Actualmente, la temperatura de la Tierra ya es aproximadamente 1,1 °C más alta que a fines del siglo XIX, y las emisiones continúan aumentando. Para mantener el calentamiento global a no más de 1,5 °C, como se exige en el Acuerdo de París, las emisiones deben reducirse en un 45% para 2030 y llegar a monto net cero para 2050” (Traducción libre de “For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action, en <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>).

millones, si –como se estima– sigue incrementándose al orden de una tasa anual ligeramente inferior o próxima a 1% en los 27 años siguientes.³

Pues bien, considerando los elementos indicados, es posible señalar que actualmente el mundo consume un volumen anual de energía primaria (EP) de un poco más de 300 millones de barriles de petróleo equivalentes al día. Corresponde –en medidas caloríficas– a un poco más de 600 Exajoules al año. De ese total, el consumo de petróleo equivale –estrictamente– a cerca de 95 millones de barriles equivalentes al día. El del carbón a poco más de 80 millones. Y el del gas natural a más de 70 millones. En todos los casos de barriles equivalentes de petróleo al día.⁴ Estos tres fósiles representan, entonces, un consumo primario de energía del

3 No es ocioso mencionar que, aun al respecto de esta necesidad de satisfacer “a toda costa” los requerimientos de bienes y servicios de la población, que se plasma en la “necesidad” de crecer siempre por encima de la tasa de crecimiento demográfico, hay debate y cuestionamientos. En particular, recomendamos la lectura de Lance Taylor, Duncan K. Foley, and Armon Rezai, *An Integrated Approach to Climate Change, Income Distribution, Employment and Economic Growth*, *Ecological Economics*, Volume 146, April 2018, pp. 164-172. Ahí los autores concluyen señalando que “... a corto plazo, la producción y la actividad económica están determinadas por la demanda agregada. La demanda misma está determinada esencialmente por la distribución del ingreso entre ganancias y salarios. Con el tiempo la economía crece y su stock de capital y capacidad productiva aumentan. Sin embargo, niveles más altos de ingresos requieren un mayor uso de energía que, en ausencia de una política climática, conduce a mayores emisiones de GEI”. Nuestros autores aseguran que su modelo “se utiliza para estudiar el comportamiento de la macroeconomía y el medio ambiente a lo largo del tiempo utilizando la dinámica fundamental de la relación capital/población y la relación GEI/capital”. Y concluyen al señalar que su análisis “demuestra que la interacción de la acumulación de gases de efecto invernadero y el crecimiento económico probablemente implique períodos cíclicos de auge y caída en la producción y una estabilización de los GEI atmosféricos en niveles altos para mantener bajo control la acumulación de capital. Los detalles de esta dinámica agregada, sin embargo, dependen de la dinámica de todos los elementos individuales descritos anteriormente y tendría que estudiarse en calibración numérica y simulación debido a la complejidad del modelo”.

4 Hemos utilizado la conversión calorífica de una tonelada de petróleo equivalente con 41.56 Gigajoules. Y de 7.33 barriles de petróleo equivalente por tonelada.

orden de 250 millones de barriles equivalentes de petróleo al día, poco más de 80% de los requerimientos cotidianos. Evidentemente, esta es la primera debilidad de nuestra situación energética mundial, por lo demás derivada –como gustan indicar diversos autores– del nuevo patrón de crecimiento y desarrollo después de la Revolución Industrial.⁵

Los números oficiales más recientes de la Agencia Internacional de Energía (IEA de marzo del 2023) sobre emisiones de GEI indican que, por este consumo primario de energía fósil, en el año 2022 el mundo emitió alrededor de 36.8 mil millones de toneladas (Gigatoneladas) de CO₂ equivalente (GTCO_{2e}). Pero a decir de los expertos de esta Agencia, estas emisiones sólo agrupan 81% de las emisiones de CO₂ equivalente totales. El 19% complementario se integra por las emisiones de otros gases contaminantes (Metano, Óxido Nitroso, Gases Fluorados) en la agricultura y la ganadería, en la industria, en actividades que generan residuos de diversos tipos y, finalmente, en actividades que cambian el uso del suelo y deforestan.⁶

5 Es interesante ingresar también a este debate sobre el patrón capitalista depredador posterior a la Revolución Industrial, la cual se inicia con la máquina de vapor y sus usos, prioritariamente industriales y del transporte. En particular podría consultarse a Alberto Carral en “Hacia el 2030: El choque por los recursos, *Economía*, 10 marzo 2023, Rebelión” (<https://rebellion.org>). A este respecto, por cierto, la consultora Deloitte indica que estamos en la cuarta transición energética. “El mundo avanza hacia su cuarta gran transición energética, de los combustibles fósiles a las energías renovables. Las transiciones anteriores han marcado nuevas épocas. El fuego proporcionó a los homínidos un alimento rico en energía, con profundas consecuencias para la evolución humana. La agricultura y la tracción animal allanaron el camino para las sociedades sedentarias y las grandes ciudades. La era industrial, impulsada por combustibles fósiles, transformó la condición humana y creó un daño ambiental inimaginable”. (<https://blogs.deloitte.co.uk/mondaybriefing/2021/06/the-fourth-energy-transition-the-lessons-and-limits-of-history.html>).

6 Atendiendo al *Anuario de British Petroleum*, las emisiones derivadas de los procesos “no energéticos” también representan hoy una magnitud de entre cuatro y cinco Gigatoneladas de CO₂ equivalente. Como mecanismo de verificación aproximada, hemos realizado estimaciones complementarias con los coeficientes del IPCC (Tabla 1.4: DEFAULT CO₂ EMISSION FACTORS FOR COMBUSTION, en Draft 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Para el crudo y los petrolíferos 93.3 toneladas de CO₂ equivalente por Teraju-

Todas estas emisiones, precisamente, son las que han impulsado la temperatura del mundo hacia arriba. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) “los últimos seis años han sido los más cálidos registrados desde 1880, y 2016, 2019 y 2020 fueron los tres primeros. 2020 estuvo 1.2°C por encima de la temperatura de la era preindustrial... Además, la OMM predice que hay 20% de probabilidad de que el aumento de las temperaturas supere temporalmente los 1.5°C a partir de 2024”.⁷

El abatimiento de emisiones de todas estas actividades exige acciones específicas por parte de los diversos sectores consumidores de energía, justamente los que la transforman en energía útil o la usan en procesos diversos.⁸ Es importante indicar que los procesos de transforma-

.....
lios. Para el gas natural 76.1. Y para el carbón 94.6. Los resultados son de la magnitud señalada tanto por British Petroleum como por la Agencia Internacional de Energía.

- 7 Ver <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-aumento-de-las-temperaturas-mundiales-es-alarmante>.
- 8 Citando directamente a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, los gases de efecto invernadero incluyen los siguientes: 1) Dióxido de carbono (CO₂): El dióxido de carbono ingresa a la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo), residuos sólidos, árboles y otros materiales biológicos; y también como resultado de ciertas reacciones químicas (p. ej.: fabricación de cemento). El dióxido de carbono se elimina de la atmósfera (o “secuestra”) cuando lo absorben las plantas como parte del ciclo biológico del carbono; 2) Metano (CH₄): El metano se emite durante la producción y el transporte de carbón, gas natural y petróleo. También se generan emisiones de metano en prácticas ganaderas y otras prácticas agrícolas, y a raíz de la descomposición de residuos orgánicos en rellenos sanitarios municipales para residuos sólidos; 3) Óxido nitroso (N₂O): El óxido nitroso se emite durante actividades agrícolas e industriales, en la combustión de combustibles fósiles y residuos sólidos y también durante el tratamiento de aguas residuales; 4) Gases fluorados: Los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos, el hexafluoruro de azufre y el trifluoruro de nitrógeno son gases de efecto invernadero sintéticos y potentes que se emiten en diversos procesos industriales. En ocasiones, los gases fluorados se utilizan como sustitutos de sustancias que destruyen el ozono de la estratósfera (p. ej.: clorofluorocarbonos, hidrofluorocarbonos y halones). Estos gases habitualmente se emiten en pequeñas cantidades pero, como son gases de efecto invernadero potentes, en ocasiones se les conoce como gases de Alto Potencial de Calentamiento Global (o “Gases de GWP alto”). El efecto de cada gas sobre el cambio climático depende de tres factores principales: 1) concentración del gas en la atmósfera; 2) tiempo de permanencia en la atmósfera; 3) capacidad de afectación a la atmósfera (<https://espanol.epa>).

ción, transmisión y distribución de la energía primaria disponible –81% del total, como señalamos antes–, prácticamente consumen 30% de la energía primaria necesaria, que representa 25% del total disponible que genera GEI en el mundo. Sí, actualmente el consumo de la llamada energía final (EF) es del orden de 70% de la energía primaria consumida. Por eso –como también hemos indicado antes– al sumar todas emisiones derivadas –tanto del consumo de energía como de las actividades señaladas– tenemos ese volumen del orden de 45 a 46 GTCO_{2e}. De ellas, es indudable que el “grueso energético” puede y debe abatirse disminuyendo la participación de los fósiles en el balance primario de energía. Pero esto sólo se puede lograr “del final al principio” o “de atrás para adelante”. O sea, sólo la modificación de la estructura de energía final, la transformación de las posibilidades tecnológicas y de los hábitos de consumo final y –consecuentemente– de las costumbres de energías útiles usuales, sólo eso podrá lograr el abatimiento de emisiones. Al menos del componente “energético” dominante. Y esto sólo se puede lograr de dos formas. Primera –de ser posible– por la disminución absoluta de energía consumida, lo que supone el ingreso a un círculo virtuoso de eficiencia. Asimismo –también de ser posible– por una virtuosa baja relativa de los combustibles fósiles en la matriz energética primaria en el mundo. Es decir, que crezca menos rápidamente el consumo de fósiles que el consumo de energía primara. Así, por ejemplo, en el caso del transporte, que representa cerca de 30% del consumo final de energía, las posibilidades de que se sostenga el movimiento cotidiano de personas y mercancías, tanto en zonas urbanas, como en zonas interurbanas dependerá, evidentemente, de la disponibilidad de vehículos colectivos que operen con fósiles pero sustituyan el vehículo individual. O, alternativamente, de vehículos –preferentemente colectivos para tener lo que podríamos llamar “doble eficiencia”– que ya no operen con fósiles. ¿Qué significa esto? Por lo pronto que operan eléctricamente. Y es que –nunca hay que

gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero).

olvidarlo— la participación de los fósiles en el consumo de energía del transporte es de 96%.

A nivel mundial, la electricidad sólo representa poco más del uno por ciento del consumo de energía en el transporte. Y acaso algunas renovables, no más del tres por ciento. Surge entonces la interrogante sobre las alternativas de “limpiar” el transporte, lo que supone la sustitución directa de petrolíferos. Y es que 92% de la energía necesaria en el transporte proviene de productos petrolíferos, que a su vez representan 67% del total de petrolíferos en el consumo final necesario en el mundo. Pero esto exigiría que el actual 2% de la electricidad destinada al transporte en el mundo se incrementara sustantivamente.

2. Una estimación sectorial de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a reducir

Hemos indicado antes que las estimaciones oficiales de agencias y organismos internacionales sobre emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es decir, gases que atrapan el calor en la atmósfera, son del orden de 42 mil millones de toneladas de CO₂ equivalente. Resultan de la agregación de cerca de 35 mil millones de toneladas de emisiones vinculadas al consumo de crudo y petrolíferos, gas natural y carbón, con fines “energéticos”, más las que podríamos llamar “no energéticas”, de un orden cercano a siete mil millones de toneladas de CO₂ equivalente. En conjunto, entonces, tienen un orden de magnitud de aproximadamente 42 mil millones de toneladas de CO₂ equivalente. Sí, la matriz energética en nuestro mundo de hoy sigue siendo muy contaminante. Y en poco más de 80%, esas emisiones provienen de la “quema energética” de carbón (37%), petróleo y derivados (27%) y gas natural (18%) al año.⁹

9 Para fortalecer el análisis del consumo y la utilización de combustibles fósiles y la determinación de emisiones asociadas, nos parece importante indicar la más reciente nota metodológica de la Agencia Internacional de Energía. Con una traducción libre bajo nuestra responsabilidad, nos indican que “la IEA se basa en una amplia gama de fuentes estadísticas respetadas para construir estima-

Por eso la urgencia de una transición hacia una nueva matriz más y más limpia, permítasenos escribirlo así. Además, del volumen de GEI, la electricidad –que hasta hoy sólo resuelve la quinta parte de los requerimientos de energía final y de energía útil– es responsable de 40% del total de emisiones equivalentes de CO₂. Sólo la generación a carbón representa 30% de las emisiones totales por consumo de fósiles. Esa participación de la electricidad de fósiles debe disminuir si se desea enfrentar seriamente –como debe de ser– el delicado y grave problema del Cambio Climático. Los procesos industriales y el transporte –para todo fin práctico– son responsables, respectivamente, cada uno de una cuarta

.....
ciones de la demanda de energía, CO₂ relacionado con la energía y otras emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2022. Las fuentes incluyen las últimas presentaciones de datos mensuales al Centro de datos de energía de la IEA, datos en tiempo real de operadores de sistemas eléctricos de todo el mundo, publicaciones estadísticas de administraciones nacionales y datos recientes de la serie IEA Market Report que cubre carbón, petróleo, gas natural, energías renovables, electricidad y eficiencia energética. Cuando no se dispone de datos anuales o mensuales, se utilizan estimaciones. El alcance de las emisiones de CO₂ en este informe incluye las emisiones de todos los usos de combustibles fósiles con fines energéticos, incluida la combustión de residuos no renovables, así como las emisiones de procesos industriales como la producción de cemento, hierro y acero y productos químicos. Las estimaciones de las emisiones de los procesos industriales se basan en los últimos datos de producción de hierro y acero, escoria de cemento, aluminio y productos químicos. Las emisiones de CO₂ de la combustión de gases quemados también se incluyen en las estimaciones de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía. Las emisiones de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ incluyen las emisiones fugitivas del suministro de petróleo, gas y carbón. También se evalúan las emisiones de metano y óxido nitroso relacionadas con la quema de energía, con base en factores de emisión típicos para los usos finales y las regiones correspondientes. Al convertir las emisiones de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ a cantidades equivalentes, se utiliza un potencial de calentamiento global durante un período de 100 años, con valores de potencial de calentamiento global de 30 para el metano y 273 para el óxido nitroso. Las tasas de crecimiento económico que subyacen a este análisis son las publicadas por la actualización de Perspectivas de la economía mundial de enero de 2023 del Fondo Monetario Internacional. Todas las cantidades monetarias se expresan en USD (2021) en términos de paridad de poder adquisitivo (PPA)”. IEA, CO₂ Emissions in 2022, France, March 2023).

parte de las emisiones “energéticas” actualmente registradas. Finalmente, el uso de energía para acondicionamiento ambiental y utilización de equipos e instrumentos en los sectores residencial, comercial y público (identificado como *Building* en inglés) es responsable de 10% restante.

Globalmente serían cuatro los mecanismos que permiten –en cada uno de estos sectores– la disminución de emisiones: 1) mayor eficiencia en generación y consumo de energía, evidentemente aún más en generación y consumo de electricidad; 2) satisfacción de requerimientos con fuentes alternativas a las fósiles; 3) en particular y como parte de lo que podríamos identificar como “transición en la transición”, sustitución de generación de electricidad a petrolíferos y a carbón –menos eficiente y más contaminante– por generación a gas natural –más eficiente y menos contaminante–; 4) impulso a energías limpias y, en particular, renovables, eólica y fotovoltaica sin duda, pero no sólo. Hay un consenso. Las alternativas más viables y menos controvertidas son el incremento de eficiencia y el impulso de generación eólica y fotovoltaica. Lo que supone, electrificación creciente del balance de energía final y de energía útil. También hay consenso a este respecto. La incorporación de renovables es irreversible. Sin ingenuidad, indicando sus problemas. Y estableciendo una adecuada ingeniería económica y de costos. La sociedad debe conocerla. Reiteremos, en el marco –incuestionable– de una electrificación creciente. Sí. Para atender todos los requerimientos de energía útil. Siempre orientada a la protección y superación crecientes de los efectos del Cambio Climático. Podrán y deberán discutirse –una vez evaluadas las experiencias propias y ajenas– los esquemas de organización industrial y social requeridos. Y sus bases regulatorias, normativas, jurídicas y constitucionales más adecuadas. Incluso, sus condiciones financieras. Y los criterios rectores. En el caso de nuestro país, nos parece importante evaluar lo que ha sido nuestra tradición constitucional derivada del artículo 27 de nuestra Constitución. Justamente el que se modificó con la Reforma del 2013. ¿En que se tradujo? Tradicionalmente en la necesi-

dad de utilizar racionalmente nuestros recursos naturales y en prestar un óptimo servicio público de electricidad. Seguro, confiable, de calidad. Y –de hoy en adelante– limpio. Intereses particulares legítimos no pueden ir por encima de intereses generales muchísimo más legítimos. Pero, además, se trata de lograr todo lo anterior al menor costo. De largo plazo, dicen los técnicos. Esto obliga a identificar nítidamente los requerimientos técnicos necesarios para la incorporación obligada de alternativas. Y sus costos asociados. En este caso de energías renovables. ¿Cuáles? Costo del control específico de su variabilidad y su intermitencia. Consecuentemente, costos del despliegue óptimo del necesario respaldo. Y, también consecuentemente, costos de la configuración y fortaleza necesarias de las redes de transmisión y de distribución, para lograr la máxima y más eficiente incorporación de centrales solares fotovoltaicas y eólicas. Incluso con la incorporación de formas descentralizadas y distribuidas de generación de electricidad. Al menos. Sí, consideramos que, en este marco de realidad, la estrategia de electrificación creciente es obligada. Y la profundización de las renovables en su mezcla de generación también. Pero cumpliendo las condiciones señaladas.

3. Una consideración complementaria obligada

En el más reciente *Reporte Mundial sobre Desigualdad Climática*, el Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas, António Guterres, aseguró que la crisis climática es un caso de estudio de injusticia moral y económica.¹⁰ Esta afirmación, tan severa pero tan realista, está soportada en la visión de los técnicos que prepararon dicho reporte. Para ellos “la crisis climática ha comenzado a trastornar las sociedades humanas al afectar gravemente los cimientos mismos de la vida humana y la organización social”. Todavía más, aseguran que los impactos climáticos no se distribuyen por igual en todo el mundo. ¿Por qué? Pues porque, en promedio, los países de ingresos bajos y medianos sufren

10 World Inequality Lab, *Climate Inequality Report 2023*, January 2023.

mayores impactos que los países identificados como ricos.¹¹ Reportes técnicos recogidos, precisamente, por estos especialistas responsables del reporte indican que una alta concentración de emisiones globales de gases de efecto invernadero proviene de una fracción relativamente pequeña de la población que vive en países emergentes y ricos.¹² Asimismo, que los múltiples impactos climáticos en los diferentes países están fuertemente vinculados a diferencias sustanciales de ingresos y de riqueza, no sólo entre países, sino también a su interior, entre diferentes grupos sociales, identificados –justamente– por su nivel de ingreso y de riqueza.

Esto obliga a asegurar que la denominada transición energética hacia formas de producción de energía más limpias y sustentables debe ir precedida –o, al menos acompañada– por una transición económica hacia formas alternativas de desarrollo más justas, capaces de modificar las causantes tanto de la concentración de ingreso y riqueza y –con ello,

11 Para el año fiscal 2023, el Banco Mundial considera que los países de Bajo Ingreso tuvieron en el año 2021 cerca de mil dólares (\$1,085.00) o menos de Ingreso Nacional Bruto (INB) por habitante. Los de Ingreso Medio Bajo tendría, de acuerdo con el mismo método, entre \$1,086.00 y \$ 4,255.00 dólares. Y los de Ingreso Medio Alto entre \$ 4,256.00 y hasta \$13,205 dólares o más. Finalmente, los Ingreso Alto son, estrictamente, los superiores a \$13,589.00 dólares. Los técnicos del Banco Mundial advierten que “al calcular el ingreso nacional bruto (INB, anteriormente conocido como PNB) en dólares estadounidenses para ciertos fines operativos y analíticos, el Banco Mundial utiliza el factor de conversión Atlas en lugar de tipos de cambio simples. El propósito del factor de conversión Atlas es reducir el impacto de las fluctuaciones del tipo de cambio en la comparación de los ingresos nacionales entre países. El factor de conversión de Atlas para cualquier año es el promedio del tipo de cambio de un país para ese año y sus tipos de cambio para los dos años anteriores, ajustado por la diferencia entre la tasa de inflación del país y la inflación internacional; el objetivo del ajuste es reducir las variaciones del tipo de cambio provocadas por la inflación en todos y cada uno de los países.

Ver (<https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378832-what-is-the-world-bank-atlas-method>).

Según este método, el INB de México en 2021 fue de \$9,590.00 dólares. El 20% de ingreso más bajo en México sólo percibe 5% del Ingreso Nacional Bruto, en tanto que 20% de mayores ingresos concentra 50% de dicho ingreso.

12 World Inequality Lab, *Climate Inequality Report 2023*, January 2023, Executive Summary

sin duda— las causantes mayoritarias de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Y no sólo a nivel de países, sino también al interior de zonas y de grupos poblacionales.

Es indudable, entonces, que las grandes líneas de cambio y mejoramiento económico y social deben ser soporte esencial de las grandes líneas de “limpieza y sustentabilidad” de nuestras formas de desarrollo, a las que deberán asociarse las grandes líneas de limpieza de nuestra vida energética. Asimismo —y, en consecuencia— es obvio que las políticas públicas esenciales y estratégicas que soporten estas líneas de cambio y mejoramiento económico deberán estar a la base del cambio energético del que, justamente, trataremos de indicar algunas características en este ensayo. Pero siempre —jamás lo olvidemos— sustentadas en un acuerdo y un dinamismo sociales, sin los cuales no hay nuevos derroteros, nuevos hábitos, nuevas estructuras, nuevas dinámicas virtuosas.

4. Algunos datos preliminares sobre la desigualdad económica y climática en el mundo

Según los técnicos del World Inequality Lab (WIL), dos variables básicas nos permiten aproximarnos a tener una caracterización de la desigualdad en el mundo. Tanto en los países y las regiones, como en los diversos sectores poblacionales. Se trata del ingreso en países, regiones y sectores poblacionales. Pero también de la riqueza, asimismo en países, regiones y sectores poblacionales. Los técnicos del WIL estiman el primero con el agregado de ingresos personales antes de impuestos, tanto de trabajadores y empleados como de propietarios del *stock* de capital. Incluyen las prestaciones de seguridad social, sin las contribuciones correspondientes. Pero excluyen otras formas de redistribución como impuestos sobre la renta, gastos en asistencia social y otros beneficios también económicos y sociales para la población. En el caso de la estimación de la riqueza, utilizan el ingreso de los hogares en el mundo. Y con base en las encuestas de ingreso de los hogares en los diversos países, parten de un

patrimonio familiar neto resultante de sumar activos financieros (acciones, bonos, derivados financieros entre otros) con activos no financieros (viviendas, terrenos, equipos, vehículos, entre otros), de propiedad de los hogares, pero netos de sus deudas.¹³ En todos los casos y siempre con fines de lograr comparaciones internacionales más robustas –observan estos técnicos– utilizan la Paridad del Poder Adquisitivo (PPA), es decir, el tipo de cambio que iguala el precio de una canasta de bienes y servicios “idénticos”, comercializados en los diversos países. Esta paridad PPA permite considerar diferencias en los costos de vida y realizar comparaciones más precisas sobre los niveles reales, tanto de ingreso como de riqueza. Esta metodología los conduce a diversos resultados muy relevantes.

El 10% más rico del mundo concentra poco más de la mitad del ingreso (52%) y tres cuartas partes (76%) de la riqueza. En México –por cierto, y con la misma metodología– 10% más rico concentra poco más de la mitad del ingreso (57%) y poco más de las tres cuartas partes de la riqueza (79%). Y en el caso de la mitad más pobre de la población, las estimaciones de ingresos y riqueza son sorprendentes. A nivel mundial, las participaciones son de 9% en ingresos y no más de 2% en riqueza. Y en México –sorprendentemente– el 50% más pobre también concentra 9% del ingreso. Sin embargo, no sólo no tiene riqueza, sino que debe los pocos activos de que dispone (-0.2%). Asimismo –también admirémoslos, por decir lo menos– en el caso del uno por ciento más rico del mundo se estiman concentraciones de 19% en el ingreso y de 40% en la riqueza. Y para el caso de México, concluyen que el mismo 1% de población más rica concentra una cuarta parte del ingreso (26%) y prácticamente la mitad de la riqueza (47%).

Estas consideraciones sobre ingreso y riqueza constituyen uno de sus puntos de partida para analizar, precisamente, la generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En particular y atendiendo al últi-

13 (World Inequality Report 2022, Technical Notes for Figures and Tables, Felix Bajard, Lucas Chancel, Rowaida Moshrif, December 15, 2021).

mo Reporte Anual de Desigualdad 2022, con datos del año 2021,¹⁴ los expertos muestran condiciones “terribles” en términos de distribución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Así, los expertos del prestigiado Laboratorio Mundial de Desigualdad (WIL por las siglas en inglés de World Inequality Laboratory) muestran que la responsabilidad de la catástrofe climática que ya padecemos está altamente concentrada. No sólo hay profunda desigualdad en los efectos del Cambio Climático, también severas asimetrías en las contribuciones a esta catástrofe. Sí, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero –siempre observando la huella de carbono–¹⁵ están soportadas en la profunda desigualdad. No sólo entre países, igual y primordialmente entre grupos poblacionales y al interior de estos. Por ello, subrayan la necesidad –con la que no podemos menos que estar de acuerdo– de discernir quiénes emiten y dónde emiten los Gases de Efecto Invernadero. Y quiénes y dónde padecen los efectos de las emisiones. En este contexto, entonces, resulta urgente

14 Ver datos del *Laboratorio Mundial de Desigualdad* (<https://inequalitylab.world/en/>).

15 El concepto original que hoy se agrupa bajo el término “huella de carbono” o “huella ecológica de carbono” se refiere a los desarrollos contemporáneos de las ideas iniciales plasmadas por el ecologista canadiense William Rees y luego completadas por el planificador urbano suizo Mathis Wackernagel. En conjunto estos dos autores desarrollaron en 1996 un texto *Our Ecological Footprint*, en el que describen el concepto. Una buena descripción está sintetizada actualmente en la Enciclopedia Británica: La huella ecológica (FE, por sus siglas en inglés) estima el área de tierra y mar biológicamente productiva necesaria para proporcionar los recursos renovables que consume una población y para absorber los desechos que genera, utilizando la tecnología y las prácticas de gestión de recursos predominantes. Estimar la “huella de carbono” implica medir los requisitos para áreas productivas (tierras de cultivo y de pastoreo para productos animales, áreas boscosas para producir madera, áreas marinas para pesca, terrenos edificados para vivienda e infraestructura y terrenos boscosos necesarios para absorber las emisiones de dióxido de carbono del consumo de energía). <https://www.britannica.com/science/ecological-footprint>. Un buen artículo sobre el origen y la evolución del concepto es el de Jan Matusky y Vladimir Kocy, What is a footprint) A conceptual analysis of environmental footprint indicators, October 2020 in *Journal of Cleaner Production*, Volume 285, 20 february 2021.

superar el análisis sectorial, incluso nacional de las emisiones globales. E identificar no sólo qué sectores o qué naciones son las de mayor responsabilidad de la devastación, sino qué grupos poblacionales son los mayores responsables. Asimismo, qué grupos poblacionales son los más afectados por los efectos dramáticos del Cambio Climático.

Lo primero a señalar es algunas de sus preguntas esenciales: ¿Quién debe reducir sus emisiones? ¿Dónde, a qué ritmo y cuándo, si en verdad se desea –se requiere– tener un balance de cero emisiones en 2050? ¿Cómo se puede acelerar –sin comprometer la eficacia y la eficiencia del proceso– el ritmo de disminución de las emisiones? Y a este respecto ¿qué indican, entonces, los datos más recientes del *Climate Inequality Report 2023*?¹⁶

El 10% de la población mundial con los mayores ingresos es responsable de la mitad (48%) de las emisiones. Y solamente 1% de la población “más rica” produce más emisiones que la mitad de la población con menores ingresos en el mundo. La mitad “pobre” sólo emite 12%, básicamente por sus necesidades en el hogar y sus requerimientos de transporte. ¿De qué volúmenes anuales por persona se trata, según este reporte? De 1.4 toneladas de CO₂ equivalente en el caso de esa “mitad pobre” del mundo. De 28.7 toneladas para ese diez por ciento “rico” de la población en el mundo. Y –admirémonos– de 101 toneladas de CO₂ equivalente por persona al año, para el caso del uno por ciento de la población mundial “muy rica”. No olvidemos –insisten en señalarlo los técnicos del WIL– que la mitad pobre del mundo sólo cuenta con el dos por ciento de la riqueza mundial, riqueza muy limitada para soportar cualquier cambio orientado a resolver la crisis climática. Tampoco olvidemos –insisten– en que el grupo poblacional de 10% de “ricos” cuenta con las tres cuartas partes de la riqueza (76%) para soportar, precisamente, los cambios que obligan a invertir recursos. Y menos aún, que los “muy ricos” del uno por ciento de la población mundial concentran 38% de la riqueza acumulada,

16 Ver en <https://wid.world/wp-content/uploads/2023/01/CBV2023-ClimateInequalityReport-2.pdf>

considerando –como indica el reporte del WIL– una suma de activos financieros y no financieros netos de deudas. En todas estas estimaciones –se subraya en el reporte– se ha integrado la huella de carbono. Es decir, no sólo han sido consideradas las emisiones producidas en el consumo –analizando los patrones típicos de cada grupo poblacional– sino también las vinculadas a los procesos requeridos antes y después, previos y posteriores a los procesos en que se emiten los Gases de Efecto Invernadero, básicamente por el consumo de fósiles. Esto, sin duda, no debemos olvidarlo nunca, para hacer un juicio y una evaluación más rigurosos, pese a las dificultades que siempre comporta hacer comparaciones internacionales y poblacionales. Y menos aún ignorarlo al convocar a la sociedad a nuevos hábitos. Y al diseñar y evaluar políticas públicas que impulsen procesos virtuosos que enfrenten, de forma eficiente y justa –cuidando de nunca ignorar los orígenes y causas de la desigualdad–, la catástrofe climática que ya vivimos.

5. Objetivos de Desarrollo Sostenible y transición energética

En este contexto, es imprescindible mencionar lo que, coloquial y formalmente, se identifican como Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales. Adoptados por las Naciones Unidas en 2015, representan un llamado universal a la acción para acabar con la pobreza, proteger el planeta y garantizar que, para 2030, todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Incluso –si se nos permite agregar– identificar y combatir las causas de esa pobreza. Se trata de 17 objetivos profundamente vinculados e integrados. No se puede lograr uno sin que, simultáneamente, se logren otros más. Los expertos de las Naciones Unidas que los presentaron a las reuniones internacionales aseguran que la acción en un área afectará los resultados en otras, y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Debe, asimismo, comprometer acciones de justicia social.

En este marco, los países que los han suscrito se han comprometido a establecer, como objetivos prioritarios, aquellos que experimentan mayor rezago en sus respectivos países. En particular los objetivos orientados a terminar con la pobreza, el hambre, el SIDA y la discriminación contra las mujeres y las niñas. Combatir la injusticia. E impulsar la creatividad, el saber hacer, la tecnología y los recursos financieros de toda la sociedad.

Mencionemos brevemente los 17 Objetivos Sustentables formulados por la ONU y aprobados por las naciones: 1) Fin de la pobreza; 2) Hambre cero; 3) Buena Salud y Bienestar; 4) Educación de calidad; 5) Igualdad de género; 6) Agua limpia y saneamiento; 7) Energía asequible y limpia o no contaminante; 8) Trabajo decente y crecimiento económico; 9) Industria, innovación e infraestructura; 10) Reducción de las desigualdades; 11) Ciudades y comunidades sostenibles; 12) Producción y Consumo responsables; 13) Acción Climática; 14) Protección de la vida submarina; 15) Vida de ecosistemas terrestres; 16) Paz, Justicia e Instituciones Fuertes; 17) Despliegue de alianzas para lograr los objetivos.¹⁷

Indicados brevemente los orígenes nacionales, sectoriales y poblacionales de los Gases de Efecto Invernadero, y mencionados –así sea brevemente también– los objetivos integrales del desarrollo en el mundo, preguntémosnos cómo entender el proceso de transición energética. Un excelente ensayo en el portal de la Enciclopedia de Energía¹⁸ nos ayuda a comprenderlo. En dicho ensayo, Christian De Perthuis (Paris-Dauphine) y Boris Solier (Montpellier) hacen un recuento detallado del origen y evolución del concepto. Dos hechos, en su opinión, originaron y modifican periódicamente este término tan relevante actualmente: el cambio técnico, y los costos derivados de la utilización y aplicación de tecnolo-

17 Ver el listado de objetivos y su traducción oficial en español en la página del Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD). <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>.

18 Christian De Perthuis (Paris-Dauphine) y Boris Solier (Montpellier) en el ensayo *La transition énergétique, un enjeu majeur pour la planète* (<https://www.encyclopedie-energie.org/>).

gías y fuentes de energía. Sí, a su decir, la forma en que naciones, estados, y políticas públicas y sociedades –añadimos nosotros–, asuman y enfrenten los problemas económicos, sociales, políticos y ambientales derivados de formas y mecanismos de satisfacer requerimientos de energía, esa forma determinará la conceptualización de la transición y la estrategia para arribar a una nueva matriz en 10, 20, 30, 40, 50 o más años. El cambio radical entre Kyoto y París, incluso recientemente en Glasgow, ha sido la aceptación de la obligatoriedad global del proceso de transición. Y su carácter de corto, mediano y largo plazos. Y, en consecuencia, también la aceptación de periodizar la transición energética y sus efectos de corto, mediano y largo plazos. ¿Qué fuentes de energía y qué tecnologías sobresalen en este proceso? ¿Con que componentes de costo? ¿Con qué efectos, tanto inmediatos, como mediatos? Además, ¿qué esfuerzos sociales y gubernamentales exige? Y ya no sólo para disponer de la energía primaria (fósiles, limpias, renovables) y, en su caso, transformarla en secundaria (derivados del petróleo, del carbón y electricidad). También –y sin duda– para contar con las tecnologías de uso final, justamente las que permiten –y permitirán en el futuro– disponer de formas útiles de energía (fuerza motriz, calor de proceso, cocción de alimentos, iluminación, refrigeración, aire acondicionado, entre otras), sin necesidad de fuentes fósiles. O, con mínima necesidad. Trátese del respaldo irrenunciable por la intermitencia y la volatilidad de las dos fuentes renovables con la más probable participación creciente (solar fotovoltaica y eólica). O trátese de energías útiles derivadas de tecnologías irrenunciables o “aparentemente irrenunciables”.¹⁹

19 No sólo son aspectos estrictamente técnicos, como el caso de la producción de cemento y de acero, cuyas emisiones provienen del uso de energía y del proceso de producción. Y en los que aún no hay tecnologías alternativas. Pero no se renuncia también por ánimos o intereses económicos, sociales y políticos, que impiden desechar tecnologías con base en fósiles. El transporte individual es, acaso, el más delicado. Pero no sólo ese. En un interesante y polémico ensayo (el papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible), los expertos de la ONU Scott Foster y David Elzinga aseguran que “la necesidad de reducir las emisiones no excluye el uso de combustibles fósiles, pero precisa

El ensayo de referencia indicado es, sin duda, un texto brillante. Señala las decisiones fundamentales que ya se deben tomar. Incluso ya con retraso. Fundamentales, por lo demás.

La **primera**, “desfosilizar y descarbonizar la matriz energética”. Lograr que petróleo y derivados, carbón, coque, incluso gas natural y otros fósiles “salgan a la brevedad” del balance energético y se abatan radicalmente las emisiones de gases de efecto invernadero. La **segunda** –inquestionable– “electrificar al máximo el balance de energía”, pero con la máxima participación de limpias y renovables. Dos razones para ello: 1) lograr mayor eficiencia en cuanto a los requerimientos de energía útil; 2) permitir la sustitución –masiva o idealmente total– de combustibles fósiles en generación de electricidad. Masiva e idealmente total por una razón, intermitencia y volatilidad de renovables como la solar fotovoltaica y la eólica. Pero también por falta de solución al problema –más bien a la alternativa– del almacenamiento de energía. Sí, descarbonizar y electrificar. Sin olvidar la máxima eficiencia en todas las fases del proceso. Incluido el consumo final. Ya hay ejemplos que apuntan hacia allá.²⁰ Actualmente el mundo resuelve sus requerimientos de energía final –la que se transforma en formas de energía útil– con cerca de un quinto de

un cambio significativo de dirección; la situación normal no es coherente con la disminución de las emisiones en los sistemas energéticos a nivel mundial. La eficiencia energética y las energías renovables a menudo se posicionan como las únicas soluciones para cumplir los objetivos del clima en el sistema energético, pero no son suficientes”. Y defienden el secuestro y la captura de carbono pues –añaden– “se espera que esta tecnología tenga como resultado una reducción de las emisiones de un 16% anual para 2050”. Y agregan “las energías renovables no se pueden usar de forma uniforme en todo el sistema energético para sustituir el uso de combustibles fósiles hoy en día, principalmente por la variación en la capacidad de los diferentes subsectores energéticos para pasar de los combustibles fósiles a las energías renovables”. Por eso subrayan la importancia del Secuestro y Captura de Carbono, que pueden proporcionar una solución coherente con las demandas actuales y permitir el tiempo necesario para desarrollar enfoques alternativos para el futuro.

20 Ejemplos actuales de electrificación final son los que se experimentan en países con un índice de participación eléctrica en su balance final, muy superior al promedio mundial de 20%.

electricidad en la estructura de consumo final de energía. Pero, lamentablemente, de los ya casi 30 mil Teravatios hora (TWh) de consumo mundial de electricidad, poco más de 60% proviene de combustibles fósiles. Por eso es insuficiente indicar solamente la necesidad –urgencia, por lo demás– de electrificar. Es preciso señalar que el mundo requiere electrificación descarbonizada. Sin caer –al menos por el momento– en la ingenuidad de creer en la sustitución total de fósiles. Y, sin embargo, hay ejemplos que apuntan hacia allá. Es el caso de los países nórdicos, en los que las energías renovables resuelven un porcentaje muy importante de la producción de electricidad. Finlandia tiene una electricidad que le resuelve 27% de sus necesidades de energía final; Suecia 32%; Noruega 48%; Islandia 50%. Por el contrario, en Rusia apenas 13% de renovables, en el balance de energía primaria utilizada, se convertirá en no menos de un 30 o 40% para el año 2050. A estas dos acciones se pueden sumar otras tres. Así, una **tercera** sería asegurar que las fuentes libres de carbono ya no se agreguen a las fuentes existentes, sino que tomen el lugar de los combustibles fósiles. Y otra **cuarta** que implica asumir que los beneficios de la mayor eficiencia energética ya no deberán conducir, a través de precios relativos más bajos, a un aumento en el consumo de energía per cápita, que es un poderoso contribuyente a la escalada de emisiones. Finalmente, una **quinta** estará en buscar que, no obstante la existencia de severas inercias de los actuales sistemas energéticos, este cambio deberá darse a marchas forzadas, debiendo marcar en el tiempo de la transición baja en carbono el ritmo del reloj climático.

6. Urgencia de electrificar y limpiar la generación eléctrica

No es ocioso indicar, desde el inicio de esta reflexión, lo que se puede llamar “urgencia de electrificar el consumo final de energía y limpiar su

generación”. Una lectura de los Balances Mundiales de Energía²¹ –ya actualizados al 2020 por la Agencia Internacional de Energía– permite observar sustantivas diferencias nacionales en la “participación eléctrica”. Y autoriza que reiteremos la urgencia de incrementar aceleradamente esta participación. Es uno de los mayores retos para “limpiar” el consumo, siempre que simultáneamente, y acaso con más celeridad, se limpie la mezcla de generación. Al menos en tanto se resuelvan varios retos tecnológicos y económicos: almacenamiento, uso de hidrógeno, captura y secuestro de carbono, entre otros (Recuadro 1). Estas son dos de las condiciones impostergables para atender las graves consecuencias del Cambio Climático. Enorme reto si partimos –como debe hacerse– de la radical asimetría en términos de emisores de Gases de Efecto Invernadero y de afectados por esas emisiones. Sí, los emisores más intensos –lo hemos tratado aquí mismo, con base en diversas fuentes confiables– son los de mayor ingreso y mayor riqueza en el mundo. Y los que padecen y experimentan los efectos más nocivos son los de menor ingreso y menor riqueza en el mundo. Desigualdad, pobreza, miseria y sus causas son severo punto de partida para enfrentar el reto de limpiar nuestro consumo de energía, continua y crecientemente hasta los diversos usos finales de la energía. Y hasta la generación de electricidad limpia de por medio.

.....
21 International Energy Agency, *World Energy Balances 2022* (Database), France 2023.
(<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>)

Recuadro 1

Los retos para lograr una electrificación creciente: Un ejemplo por especialistas en desarrollo tecnológico en energía, de la compañía Fuergy de la República Eslovaca

1. Cantidad creciente de fuentes de energía renovable. Se espera que para 2050, el 62% de la energía generada sea cubierta por energías renovables. En comparación, la cantidad de energía verde generada en 2019 representó 27% de la producción mundial, y sólo 13% de toda la capacidad de producción en Eslovaquia. Sin embargo, conectar fuentes de energía renovable (RES) a la red no es tan simple como parece, y su efectividad depende completamente de las condiciones climáticas. Desde este punto de vista, las RES se consideran una fuente de energía inestable y su funcionamiento, sin un sistema de gestión avanzado, puede provocar un grave desequilibrio de la red.

Solución: Acumulación de electricidad. Baterías u otros sistemas de almacenamiento de energía que pueden almacenar energía no utilizada y guardarla para una necesidad posterior. La inteligencia artificial puede mejorar los sistemas de predicción y, por lo tanto, permitir pronósticos meteorológicos o de consumo de energía más precisos. Con este enfoque, las empresas de servicios públicos pueden mejorar la planificación de las necesidades de electricidad de sus clientes y las soluciones inteligentes de gestión de energía pueden convertir la energía verde en una alternativa confiable a los combustibles fósiles.

2. Pérdidas de transmisión de electricidad. La distribución de electricidad a largas distancias aumenta la temperatura dentro de las líneas eléctricas y, por lo tanto, provoca pérdidas significativas de energía en forma de calor. Al final, estas pérdidas son pagadas por los consumidores de electricidad cotidianos. En 2019, las tarifas relacionadas con las pérdidas de transmisión de electricidad representaron 4,57% del precio final de la electricidad para los hogares y 4% para los propietarios de empresas en Eslovaquia. Aunque la cantidad de energía que

se pierde es relativamente baja en Europa, alrededor de 4-5%, en otros países está alcanzando cifras mucho más altas. Por ejemplo, 19% en India y un asombroso 50% en Haití.

Solución: Descentralización energética. Un cambio de la producción de electricidad en unas pocas centrales eléctricas grandes a un sistema de pequeñas fuentes de energía locales que garanticen que la energía se consuma lo más cerca posible de su fuente, incluso a nivel de edificios residenciales individuales, p. prosumidores.

3. Cortes de energía frecuentes. Las dos causas más comunes de apagones son las condiciones climáticas extremas y las líneas eléctricas desgastadas por el tiempo. Si bien Europa no se ve afectada con tanta frecuencia, los casos graves de cortes de energía amenazan a millones de personas y ya causaron daños de miles de millones de dólares en Australia y Estados Unidos. Además de paralizar la vida dentro de las áreas afectadas, un gran apagón puede provocar daños en los dispositivos electrónicos y pérdida de datos importantes.

Solución: Aumento de la autosuficiencia energética. Las fuentes de respaldo, como las baterías, pueden ofrecer una protección duradera en caso de cortes de energía y garantizar el funcionamiento continuo de equipos cruciales. Cuando se combina con una fuente de energía renovable, un punto de entrega puede acumular energía verde y guardarla para su uso posterior.

4. Electromovilidad. Los vehículos eléctricos (EV) aún son raros, pero los rápidos avances tecnológicos están aumentando su popularidad. Sin embargo, la carga de los vehículos eléctricos puede llevar mucho tiempo y, si no podemos permitirnos pasar medio día en la gasolinera, debemos usar un supercargador que consume una cantidad inmensa de energía. Para comparar, una carga completa con un supercargador equivale al lanzamiento de 70 unidades de aire acondi-

dicionado a la vez. Un cambio tan instantáneo en la demanda de energía es un gran problema para la red.

Solución: Red inteligente. Conexión en línea de varias fuentes, como paneles solares, baterías, cargadores EV u otros equipos. A través del análisis de los “Big data” recopilados en tiempo real, es posible acelerar el tiempo de reacción a los cambios en la red eléctrica y así garantizar un suministro de energía estable y de alta calidad. O dicho de otro modo, los dispositivos pueden disponer de la energía no utilizada para beneficiar a otros equipos que la necesiten.

5. Modernización de la red. Si bien la vida útil operativa de las líneas eléctricas no es eterna y la renovación o construcción de nuevas líneas eléctricas es costosa, existe una necesidad constante de aumentar su capacidad.

Solución: Descentralización energética. Como se mencionó anteriormente, la producción y el consumo de energía local reducen la cantidad de electricidad distribuida a través de la red eléctrica. Por lo tanto, las pérdidas de transmisión son menores y las líneas eléctricas menos cargadas duran más.

6. Amenaza de ciberataques. La digitalización del sector energético también tiene sus efectos secundarios. Ya se han detectado casos en los que un grupo de hackers se infiltró en los sistemas de las empresas de energía y expuso a miles de hogares a un apagón controlado.

Solución: cadena de bloques. El potencial de las bases de datos distribuidas para eliminar los ataques cibernéticos demostró ser tan eficiente que incluso las instituciones financieras internacionales, p. J.P. Morgan y Nasdaq consideran su implementación. De manera similar, como durante la descentralización de la generación de energía en la que la responsabilidad de la operación de la red no está en manos de un solo proveedor, las bases de datos distribuidas significan que un ataque a un solo punto de la red, p. una planta de energía, no puede interferir con la operación de todo el sistema.

7. Amenaza de ataques terroristas. Si bien un ataque a fuentes de alimentos u otros suministros vitales puede causar grandes problemas y pánico en la sociedad, con las opciones de transporte actuales la situación puede resolverse con relativa rapidez. Por otro lado, la devastación de las líneas eléctricas puede tardar mucho más en repararse.

Solución: Microrredes. O, dicho simplemente, comunidades energéticas autosuficientes. Si un grupo terrorista decidiera detener el suministro de energía a gran escala, sería necesario un ataque a una gran cantidad de microrredes.

Fuente: <https://fuergy.com/blog/7-problems-and-challenges-of-a-power-grid>.

Pero –siempre un pero– sin la demagogia que hace de la energía solar fotovoltaica, y de la eólica, la solución mágica y prácticamente sin costo. Y eso sin ingresar al debate –intenso por lo demás– sobre la mayor o menor disponibilidad de materiales e insumos requeridos para sostener estas fuentes.²² ¡Cuidado! Las soluciones no son tan mágicas ni tan de bajo costo si –como debiéramos hacerlo– consideramos su intermitencia y su volatilidad. E integramos los costos asociados tanto a su huella de carbono, como a su respaldo y a su integración a las redes. Indiquemos brevemente –y a manera de ejemplo para dimensionar el enorme reto que enfrentamos– qué países resuelven con más electricidad sus requerimientos de energía final. ¡Islandia, sin duda! La mitad de sus necesidades de energía final, la que les permite acceder a los diferentes usos, las resuelven con electricidad (del orden de 20 Teravatio hora (TWh) en 2022). Y prácticamente limpia, hidroeléctrica y geotérmica. Otro ejemplo lo proporcionan Noruega y Suecia, con la mitad y la tercera parte respectivamente de participación eléctrica en dicha energía final, con montos anuales de electricidad del orden de 146 TWh y 173 TWh, respectivamente en 2022. Y también muy limpia. En Noruega con hidroelectricidad para 95%. Y en Suecia con 40% de energía nuclear, 40% con hidroelec-

22 Un debate bien documentado al respecto es presentado por Alberto Carral en: “Hacia el 2030: el choque por los recursos, Rebelión 10 marzo 2023” (<https://rebellion.org>).

tricidad y 18% restante con geotérmica, solar y biocombustibles. Los fósiles respaldan esta limpia estructura con no más de 2%. Frente a estos ejemplos “paradigmáticos” sorprende el caso de Japón. Electrificado en 30% en su consumo final, depende en 80% de combustibles fósiles para generar su electricidad, cuyo monto total anual en 2022 fue del orden de 1,001 TWh.²³ Hay en cambio algunos países cuya baja participación eléctrica sorprende. Haití con no más de 1% (1 Twh). Etiopía con sólo 2% (15 TWh). Nigeria 3% (33 TWh). Gabón y Kenya 4% cada uno, con 2.3 TWh y 11 TWh, respetivamente. África en conjunto menos de 10%, con un total continental de generación del orden de 900 TWh, la mitad concentrada en Egipto y Sudáfrica. Egipto electrificado en 22% y una generación del orden de 210 TWh. Y Sudáfrica electrificado en 25% en su balance final, con 250 TWh de generación eléctrica al año. Estos datos nos dan idea de la enorme disparidad y del delicado reto que significa limpiar el consumo de energía con más electricidad, pero limpia en el balance de energía final. Un reto que, por lo demás, exige la electrificación del transporte. Pero no con el falso paradigma del auto individual eléctrico. Sino con el transporte eléctrico masivo. De personas y mercancías. El nivel actual de electrificación del transporte –por lo demás responsable de la cuarta parte de emisiones “energéticas” en el mundo– es de apenas poco más del uno por ciento. Incluso, la electrificación del ferrocarril en el mundo apenas alcanza poco menos de 50%. Todavía hoy, en pleno año 2023, los fósiles –básicamente hidrocarburos– concentran más de la mitad del transporte ferroviario de personas y mercancías en el mundo. Incluso en algunas naciones, como Francia y Suiza donde la movilidad ferroviaria es paradigmática, la electrificación del sistema ferroviario es de 86 y 97% respectivamente. Es cierto que aun la movilidad ferroviaria a combustión interna es energética y ecológicamente superior a la movilidad individual

23 Datos del año 2022 presentados por la Agencia Internacional de Energía en su reporte de marzo 2023.
(<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics>)

a combustión interna. Pero ese diferencial no puede ser esgrimido sino –acaso– como un paso intermedio a la movilidad eléctrica masiva y colectiva. Los Grandes países como China, la India y Rusia sólo resuelven con electricidad 69, 31 y 69%, respectivamente, su energía consumida en transporte ferroviario. Pero su transporte eléctrico sólo representa 4, 1 y 7% de su energía utilizada para mover personas y mercancías.

Sin duda, estos datos muestran que, efectivamente, el principal reto de electrificar el balance final de energía, y con ello colaborar a limpiar dicho balance, exige una sustitución enorme de fósiles –básicamente hidrocarburos– en el transporte, de nuevo de personas y mercancías.

7. Costos de integración eléctrica renovables

Pero los costos que implica la electrificación del balance final de energía deben ser bien evaluados. Como también debe ser evaluada la limpieza de la generación eléctrica con la introducción masiva, pero adecuada, de renovables y, de ser aceptadas por la sociedad, de nucleoelectricas.

Costear el suministro eléctrico en una sociedad exige integrar adecuadamente el agregado de costos de generación, transmisión (alta tensión), distribución (media y baja tensiones), comercialización y suministro final. Y nunca olvidar –sin duda– los llamados servicios conexos (reservas operativas y rodantes, regulación de frecuencia y de voltaje, arranque de emergencia, entre otros). Ni el control, responsable del famoso despacho eléctrico. Menos aún los costos de planeación, so riesgo de tener sistemas desadaptados con severos problemas. Tampoco –y sólo para mencionar uno más– los costos de desmantelamiento y guarda o disposición de desechos.

A decir de los especialistas en ingeniería económica y de costos, en todos los casos hay que estimar fijos y variables o de operación. En los primeros –los fijos– se incurre independientemente de que se opere o no se opere, y por ello es muy importante saber cuándo y por qué razones

deben retirarse plantas, equipos y materiales. Y los segundos, evidentemente, dependen del nivel y forma de operación.

Los fijos incluyen costos de capital, construcción, materiales, equipos, terrenos, infraestructura necesaria, trámites y permisos, operación o mantenimiento fijos y costos financieros. Más los costos fijos de desmantelamiento y guarda o disposición de desechos.

Los de operación (de centrales, líneas de transmisión y de distribución, subestaciones, equipos de suministro, medición y control, equipos de respaldo, entre otros) incluyen costos de combustible, mano de obra y operación y mantenimiento, que sí dependen del nivel y la forma de operación. En generación, los combustibles son los más importantes de operación.

En principio, las renovables no tienen este costo de combustibles, pero se sustituye por cargos fijos como los pagos por arrendamiento de terrenos para explotar el viento o utilizar la irradiación solar. A este respecto, por cierto, hay trabajos de especialistas que documentan experiencias tremendas y terribles en México, de usufructo de terrenos ejidales comunales y colectivos. Convendrá verlos en algún momento. Indiquemos un señalamiento más. Hay un tipo de costos que debemos resaltar y subrayar. Al menos desde hace ocho o diez años la literatura especializada lo hace, son los llamados costos de integración.

Originalmente se plantearon a propósito de la necesidad de abatir emisiones e incorporar renovables y limpias. Pero ya se han extendido, incluso a la importante generación distribuida. Pues bien, si las estimaciones de todos los componentes del costo y su diferenciación en fijos y de operación son relevantes, también lo son las estimaciones de estos costos de integración, ya no sólo de renovables, sino de toda fuente de generación y todo equipo del sistema. Hay debate sobre su definición y sus métodos de cálculo, pero ya están ahí. Son costos en los que incurre el sistema en general –no una obra específica– para recibir adecuadamente no sólo las renovables, sino los sistemas de generación distribuida, entre otras obras. Garantizan adecuada integración, confiabilidad, seguridad

y estabilidad en el suministro. Incluso pueden llegar a ser mayores que los costos originales. Y, en los hechos, se cargan a quienes soportan los sistemas, muchas veces empresas públicas, cuya operación puede implicar –sin explicitarse– subsidios importantes.

A este respecto es fundamental evitar que a propósito de la descarbonización se produzcan –como ya sucede en muchos países, México incluido– rentas y excedentes artificiales para las renovables y para la generación distribuida, entre otros. Si, además, pensamos que la alternativa de descarbonización es, por lo pronto, la electrificación creciente, la adecuada estimación de costos de integración y su incorporación a la cadena global de costos resulta obligada. Y debe ser absolutamente transparente.

8. Algunos elementos para superar la visión ingenua del proceso

Será preciso que gobiernos, políticas y acciones de la sociedad trasciendan las visiones ingenuas del proceso de transición energética. Atrás de los niveles y las formas de consumo de todos los tipos de energía se encuentran las diversas estructuras económicas –sectoriales y regionales–, las diferentes bases tecnológicas, los múltiples métodos de producción, de transporte, de comercialización y, finalmente, del consumo de bienes y servicios. Más todavía, los múltiples, diversos y aun contradictorios hábitos sociales. Por ello, para evaluar la matriz energética y reconocer mejoras posibles, es esencial identificar lo que acontece con los productos finales y las formas de energía requeridas. Y lo que está detrás, tanto sectorial como regional y poblacionalmente. Incluso económicamente. E “imaginar” su posible evolución. Y los hábitos sociales y políticas públicas a proponer en la promoción y respaldo de máximos y óptimos en eficiencia, limpieza, renovabilidad, y bienestar y justicia social. Y al menor costo.

Sí, será preciso identificar características y condiciones de la transición hacia una matriz energética “superior”. En todos estos órdenes.

Eficiencia y limpieza. Pero también conformidad social. Al pensar en esto, no podemos dejar de señalar algunas reflexiones que dos de nosotros compartimos en un trabajo de investigación orientado a evaluar los costos económicos de lo que, genéricamente, podemos identificar como “cierre de actividades”. Se trata de un trabajo presentado en la Sociedad Hispanoamericana de Análisis Input-Output.²⁴ En él tratamos de cuantificar los impactos económicos del cierre de actividades “no esenciales”, como parte de una estrategia de transición, generada por múltiples razones. Trátese de la necesidad de superar una coyuntura social compleja como fue el caso de la pandemia por Covid-19. Trátese –análogamente– de superar nuestra profunda dependencia de una matriz energética sustentada en fósiles, no renovables y altamente contaminantes.

Nuestra perspectiva de análisis partió de modelos multisectoriales, contruidos con matrices de contabilidad social. En particular partimos de una matriz doméstica de insumo producto de la economía mexicana a precios básicos, producto por producto, con apertura a rama de actividad económica del INEGI. Nuestra matriz mostró el comportamiento de 33 actividades productivas y cuatro agentes institucionales: empresas, gobierno, sector externo y hogares por decil de ingreso. Y desagregó los datos nacionales en siete mesorregiones y 32 entidades federativas. El análisis nos permitió alcanzar cinco conclusiones esenciales, derivadas del cierre de actividades en el periodo de la pandemia Covid: i) Fuertes caídas en variables fundamentales: en Valor Bruto de la Producción 8.6%; en PIB 7.0 y 7.9% en el per cápita; en Ingreso Disponible 6.5 y 7.4% en el per cápita; en Consumo Privado de 6.4 y 7.3% en el per cápita. ii) Descensos drásticos en siete ramas: Construcción (14%); Petroquímica, Plástico

24 Miriam Valdés Ibarra y Alejandro Dávila Flores, del Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila (CISE-UA de C), ofrecieron resultados en su trabajo (SAIO, <http://www.shaio.es/>) “México. Costos económicos del cierre de las actividades ‘no esenciales’ por la pandemia Covid-19. Análisis multisectorial y regional con modelos SAM”, en *Economía Teoría y Práctica* [ISSN: 2448-7481], Nueva Época, Numero especial, diciembre 2020, pp. 15-44. (<http://dx.doi.org/10.24275/ETYP/AM/NE/E052020/Davila>).

y Hule (entre 8 y 9%); Maquinaria, equipo y accesorios en general (13%); Equipo de transporte (más de 15%); Comercio al menudeo (del orden de 5%); Servicios inmobiliarios (caída superior a 8%). iii) Deterioro más severo en tres regiones: Noroeste, Noreste y Altiplano Centro-Norte del país, por presencia de ramas de mayor deterioro, de fuerte perfil exportador. iv) Severa retracción del empleo, con mayores efectos en ramas de mayor uso intensivo de mano de obra, como Construcción, Comercio al Menudeo, Servicios de Apoyo a Negocios, y en regiones de alta influencia de estas actividades señaladas. v) Disminución de la desigualdad, pero a costa del deterioro del ingreso. Por baja directa en ingreso y empleo. Una reflexión complementaria resultó muy importante: la necesidad de revisar, para casos o experiencias similares, el significado de “esencial y no esencial”. Si, con base en este análisis, pensamos en las características de “cierre”, “término”, “finalización” o “sustitución” de actividades directamente vinculadas con la producción de combustibles fósiles, será imprescindible estimar los efectos que esas características podrían generar –de hecho, van a generar– por la sustitución de fósiles por fuentes renovables.

9. El cierre de centrales contaminantes a carbón

*Elementos sobre un caso particular en México*²⁵

Además del trabajo indicado, Dávila Flores y Valdez Ibarra presentamos un trabajo en el que señalamos que el imperativo de impulsar una transición energética, desde las tecnologías de generación fósil contaminante hacia tecnologías renovables y limpias, obliga –por lo demás en todos los casos y en todo el mundo– a racionalizar el proceso de cierre y sustitución.

25 Toda esta sección ha sido una selección de ideas y textos del documento de referencia de Dávila Flores, Alejandro y Valdez Ibarra, Miriam, “Del Carbón a las Renovables, Análisis económico para la transición eléctrica en México”, Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, UK PACT, WWF México, marzo 2021.

ción de centrales fósiles. A pensarlo. A razonarlo no sólo en términos de los efectos “positivos” que permiten atender el imperativo global de abatir al máximo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero derivadas del proceso de abasto y satisfacción energéticas, sino también a atender los efectos “negativos” que, a nivel global, nacional, regional, local e, incluso, social y personal, implican un cierre de centrales fósiles contaminantes.

La matriz eléctrica de México tiene una capacidad de generación a carbón muy importante. Con una capacidad carboeléctrica total de 5 mil 463 Megavatios (MW), distribuidos en tres centrales. Por antigüedad se encuentran las centrales Río Escondido en Coahuila (4 unidades, mil 285 MW, 39 años promedio), Carbón II en Coahuila (4 unidades, mil 400 MW, 29 años promedio) y Petacalco en el estado de Guerrero (siete unidades, 2 mil 778 MW, 25 años promedio). Se trata de centrales que, a plena carga, al año consumen del orden de 9 mil millones de toneladas de carbón. Las del estado de Coahuila, básicamente carbón nacional. Y las del estado de Guerrero, sólo carbón importado.

Evidentemente el primer efecto es la supresión de la compra de no menos de dos mil millones de toneladas de carbón nacional, proveniente de la zona carbonífera de Coahuila. Y por las condiciones de explotación del carbón en esa zona, tiene severas implicaciones para los mineros de Coahuila. Aquí –y en todos los casos nacionales e internacionales– el cierre de carboeléctricas exige el diseño de estrategias de reestructuración y diversificación que compensen estas consecuencias en las regiones afectadas.

La simulación de efectos macroeconómicos realizada no arroja afectaciones sustantivas, tanto en términos de las variables Valor Bruto de la Producción, Producto Interno Bruto y Capacidad Instalada. Sí, en cambio, en términos de empleo, salario y su afectación al ingreso familiar de los hogares vinculados, la mayoría de ellos pertenecientes a los tres deciles de menor ingreso y al decil de mayor ingreso en México. Para ello se sugiere –de nuevo aquí y en todos los casos– el diseño de un proceso gradual sustitutivo, acompañado de lo que podemos llamar una senda

de transición. Ésta implicaría dos acciones simultáneas: 1) diseño de un proceso de tiempos y movimientos que permita amortizar la inversión residual de las centrales a cerrar; 2) asimismo del proceso complementario sustitutivo de reestructuración productiva de las regiones afectadas. Siempre conscientes del volumen de empleo suprimido, que en el caso de Coahuila es del orden de cinco mil trabajadores, 40% del total de casi 13 mil trabajadores a nivel nacional.

Globalmente se sugieren –de nuevo en este y en todos los casos similares en el mundo– cinco lineamientos estratégicos compensatorios:

1. Impulsar la instalación de centrales renovables, y el despliegue y consolidación de sus encadenamientos productivos en las zonas afectadas, en este caso del estado de Coahuila, aunque considerando las diferencias en condiciones y dimensiones al estado de Guerrero, por tratarse en este último caso de carbón importado.
2. Promover la conformación de un clúster del carbón “alternativo”, y articular políticas de mejora en la competitividad, basadas en las innovaciones productivas, fortaleciendo sus encadenamientos con la industria siderúrgica y diversificando sus mercados.
3. Diversificar la estructura productiva de la región noreste de Coahuila, estructurando y fortaleciendo los agrupamientos económicos con presencia en la zona.
4. Alentar programas de desarrollo de proveedores en las empresas ancla del noreste de Coahuila.
5. Promover el desarrollo de la agricultura altamente tecnificada en ambientes controlados, y los encadenamientos del sector primario con las agroindustrias.

Esta estrategia de salida del carbón permitiría:

1. La amortización total de la planta de Río Escondido, la cual se cumple en el año 2022, y porcentajes elevados de aprovechamiento de la

- vida útil programada para las plantas de Carbón II (90%) y Petacalco (alrededor de 80%).
2. La apertura de un espacio temporal para impulsar los programas de reestructuración productiva que faciliten la transición del carbón a las energías limpias, y el impulso de actividades económicas de reemplazo en las regiones afectadas (noreste de Coahuila y Petacalco, en el municipio de la Unión, en el estado de Guerrero).
 3. Conservar un nivel de actividad cercano a 60% en la extracción de carbón térmico nacional hasta el año 2029, en la región más vulnerable al cierre de las plantas de generación eléctrica con ese mineral (los municipios de la región carbonífera, Piedras Negras y Nava, en el noreste del estado de Coahuila).

A fin de compensar la pérdida de empleos en el sector de generación de electricidad, debe seguir alentándose el establecimiento de plantas eólicas y solares en el estado, con especial énfasis en las regiones en las cuales están asentadas actualmente las carboeléctricas. El objetivo sería reemplazar el mayor número posible de empleos en las mismas actividades de generación de electricidad, pero basadas en el uso de tecnologías limpias.

De igual forma, debe promoverse la integración local de las cadenas de valor de las nuevas tecnologías de generación, en particular las fases de manufactura de partes y componentes, las cuales coinciden con las vocaciones productivas del Estado y se benefician de condiciones muy favorables de acceso a mercado.

Para impulsar esta agenda de desarrollo de cadenas de valor, se sugiere fortalecer el *clúster* de la energía, con una colaboración horizontal entre sus principales actores y las instituciones y agentes del entorno, tanto públicas como privadas.

Apuntalar el complejo siderúrgico de Altos Hornos de México SA (AHMSA) en Monclova, pues representa un mercado importante que puede coadyuvar a amortiguar la caída de la actividad minera por la menor demanda de carbón térmico. Si la producción de acero retoma sus

niveles de producción del 2014, las ventas de carbón de coque pueden repuntar en un 80%, compensando los efectos de la contracción del mercado para el carbón térmico. Esto sería especialmente importante para los municipios de la región carbonífera, donde se localizan los yacimientos de carbón sub-bituminoso empleados en la producción de carbón de coque. En paralelo, debe impulsarse la adopción de tecnologías de captura de carbono en los procesos de fundición de acero primario.

De igual forma, se sugiere formalizar la organización del clúster de productos de carbón y estimular su crecimiento, mediante estrategias de diversificación de mercados basadas en políticas de promoción de inversión y sustitución de importaciones, para tratar de penetrar el mercado de compras de productos de carbón y grafito de origen importado. Además de impulsar estas políticas, este agrupamiento debe promover una agenda de impulso a la competitividad basada en las innovaciones.

Estrategias similares deben emprenderse en la región noreste de Coahuila, para diversificar las actividades productivas de la región, alentando la inversión, estimulando políticas de sustitución de importaciones, e impulsando la productividad en las actividades económicas con potencial de crecimiento en los clústeres con mayor presencia en la zona: además del agrupamiento de energía, se observa actividad en los siguientes agrupamientos; metalmecánica, acumuladores y pilas, electrónica y prendas de vestir.

Se recomienda fortalecer las acciones de desarrollo de proveedores en las empresas ancla presentes en esa región, como la cervecera de Nava (Coahuila).

Finalmente, se recomienda destinar un recurso escaso y valioso (agua) en usos sustentables, intensivos en creación de valor y fuentes de trabajo: producción agrícola intensiva en invernaderos, articulando su producción con las empresas agroindustriales y alimentarias de la región, a fin de incrementar los niveles locales de valor agregado.

El acelerado proceso de cambio tecnológico en la generación de electricidad con fuentes renovables, así como en los sistemas de almacenamiento de energía, anticipan la inviabilidad en la nueva orientación de

la política energética. Su prolongación en el tiempo elevará sus costos y someterá a una tensión innecesaria las relaciones con los principales socios comerciales del país.

10. Datos de partida sobre el consumo de electricidad

Estimaciones oficiales muestran un mundo que anualmente ya casi consume 30 mil Teravatios-hora (TWh) de electricidad. Sí, 30 mil millones de millones de kilovatios hora (kWh). Quizá poco más, por el fluido eléctrico generado por el propio consumidor, y que no ingresa a las redes de transmisión o distribución. Pues bien, si al total de esa energía consumida restamos usos propios de generación, pérdidas de transmisión y distribución, y los famosos usos ilícitos, llegamos a los números de facturación de electricidad. ¿Pero qué significa ese volumen anual de consumo mundial de electricidad? Lo primero –sorprendente– es que apenas cubre 20% de los requerimientos de energía final en el mundo de hoy. ¿Por qué? Por la “mezcla” de participaciones. Alrededor de un 25% del total de energía requerida por hogares y viviendas. Un 50% requerido por servicios públicos, alumbrado, bombeo de aguas potables y negras, iluminación y alimentación de aparatos y equipos en edificios y en comercios. Cerca de 30% del total de energía requerida en la industria. También alrededor de 30% de la energía final consumida en la agricultura, básicamente por el bombeo de aguas de riego y otros usos finales en agroindustrias. Y menos del dos por ciento en el transporte de personas y bienes, como lo hemos comentado antes. Lamentablemente. De ahí que el promedio general no supera 20%. Éste es, sin duda, el Talón de Aquiles en la energía consumida en el mundo. Baja participación eléctrica en general. Pero, sobre todo, baja electrificación del transporte. Se trata de una situación que exige mucha vigilancia. Por la ineficiencia del transporte actual, altamente contaminante, con más de 25% del total

de emisiones, y muy costoso. Por la concentración individual, y el rezago en transporte colectivo. ¿Algunos datos sobre México? En 2022 en México se consumieron alrededor de 350 TWh, cerca de 320 TWh ingresaron a las Redes Nacional de Transmisión y Generales de Distribución, y poco más de 20 TWh fueron autoabastecidos localmente, generados y consumidos sin ingresar a estas redes. En particular Pemex tiene una importante cuota del autoabasto local. También algunas grandes empresas mineras, de celulosa y papel, de fundición de hierro y acero, cementeras, del vidrio y químicas. Pero el consumo de electricidad es, apenas, de poco más de 1% del consumo mundial, y apenas satisface 20% de los requerimientos de energía final. Realmente poco. En Estados Unidos, en 2022, el consumo bruto de electricidad fue de cerca de cuatro mil 500 TWh: casi 20% del total mundial. China y la India, a su vez, nueve mil 500 y mil 500 TWh en 2022. Son volúmenes sorprendentes, considerando que la población de China y la población de la India son similares, aproximadamente mil 400 millones de habitantes. Asimismo, sorprenden nuestros vecinos del norte: con 335 millones de habitantes consumen tres veces la electricidad de la India, que tiene –como muestran los números– cuatro veces los habitantes de Estados Unidos. Todo esto para decir algo más: es cierto que electrificar es una consigna no sólo para ganar eficiencia, sino para abatir Gases de Efecto Invernadero y disminuir costos; pero esto depende de la disponibilidad de tecnología eficiente. En producción y transmisión y distribución, y en consumo. Pero depende también de la disponibilidad de recursos limpios y renovables, y a menor costo respecto a las fósiles. ¿Por qué todo esto? Porque la electrificación creciente debe ser integralmente benéfica y virtuosa. Y, sin duda, crecer más rápidamente que todas las demás formas de energía. Incluso ser más dinámica que el dinamismo económico. Justamente para incrementar la relación de unidad de energía eléctrica por unidad de valor agregado constante. Pero sin descuidar la profundización de la eficiencia.

11. Una visión inicial sobre las tecnologías disponibles para enfrentar la transición energética

De aquí surge –como ya lo anticipábamos antes– una gran pregunta. ¿Qué disponibilidad existe de tecnologías de generación, transmisión, distribución y consumo de electricidad? ¿Incluso de almacenamiento, hoy que las fuentes solar y eólica –intermitentes y volátiles– cobran mucho mayor relevancia? La respuesta es obligada. Porque de ella depende la mayor o menor capacidad no sólo para electrificar nuestra matriz energética, sino para descarbonizarla. Y para ingresar –bajo cualquier circunstancia– a un círculo virtuoso de disminución de costos. Sin merma de un servicio de mayor calidad, seguridad y confiabilidad. ¡Tremenda responsabilidad en una industria donde aún no hay almacenamiento acorde a las exigencias! Por eso, y en virtud de que la satisfacción de los requerimientos es instantánea, es fundamental que el orden de recepción y envío de lo producido tenga, precisamente, un orden. No hay posibilidad de manipulación regresiva. Siempre guiado por el menor costo. Pero no sólo. También por la mayor calidad. ¡Y la mayor seguridad! ¡Y la mayor confiabilidad!

En estos cometidos se pone en juego la adecuada y oportuna satisfacción de los usuarios. Residenciales, comerciales, de servicios públicos, agrícolas e industriales. Y, paulatinamente, del transporte. Por eso es imprescindible diseñar con cuidado los lineamientos sociales y las políticas públicas que deben ser impulsados. Y legitimar –como parece que debe ser– las condiciones de un balance de energía más limpio, menos contaminante, más eficiente y –siempre, siempre– del menor costo posible. Está de por medio lograr el máximo bienestar integral de la población. De la “polis” diría Aristóteles. De la “nación” explicitaría Adam Smith. Sin menoscabo de potenciar la capacidad productiva del trabajo, añadirán Ricardo y Marx. Brillante recorrido del pensamiento económico. Indudablemente. En nuestra investigación sobre la transición energética y la matriz energética a impulsar para lograr bienestar social, no se puede renunciar a una mayor eficiencia tecnológica. A una limpieza creciente. De Gases de Efecto Invernadero. Pero no sólo. El delicado asunto del manejo y disposición de desechos radiactivos sigue siendo una legítima inquie-

tud social. Y un asunto técnico que siempre aceptará mejores soluciones. Globalmente se requiere no sólo calidad, seguridad y confiabilidad máximas. También –valga mencionarlo, así sea de paso– máxima seguridad social. Y siempre –nunca podemos olvidarlo– al menor costo integral. Cualquier acción que no se oriente en esta perspectiva, más pronto que tarde se descartará. No es posible dejar de profundizar en las condiciones que mejoren la capacidad productiva del trabajo en el ámbito energético. Con una visión de largo plazo, lo que sin duda nos obliga a un adecuado manejo de la incertidumbre. Pero con una clarificación de las tareas –similarmente obligadas– en el corto plazo, justamente como condición de acceder a la desiderata del futuro. Es el gran desafío, ya formulado en el ensayo de Christian De Perthuis y Boris Solier citado antes, condición de un mundo con abatimiento efectivo de Gases de Efecto Invernadero. Pero también con bienestar y justicia social. Y en este contexto –nada menos– se revive en México la disputa por la Nación, dirán nuestros compañeros Rolando Cordera y Carlos Tello. Una disputa que, evidentemente, debiera retomar la discusión de las tesis fundamentales de nuestro artículo 27 constitucional. ¿Debemos o no recuperar ahora, justo en pleno proceso de transición energética, el sentido original del 27 constitucional? La riqueza natural pertenece originariamente a la Nación. Y sus beneficios deben ser utilizados en su provecho. Si ése es el caso, debiera ser un requisito por cumplir en nuestra transición energética.

12. Requisitos a cumplir de la transición energética

Por la naturaleza de la transformación profunda involucrada en la transición energética, los lineamientos sociales exigidos deben ser ampliamente consensuados. Es imprescindible una transición energética socialmente aceptada e impulsada. De otra forma tiende a fracasar. Lo muestra la fragilidad de muchas acciones emprendidas. En el mundo. Bien orientadas pero malogradas. ¿Un ejemplo? La reforma energética del anterior gobierno. Pero lo mismo puede pasar hoy. El cambio de fondo supera la perspectiva sexenal. Trasciende cualquier juego de mayorías y minorías. Simples. Absolutas. Calificadas. Está de por medio el impulso de nuevos hábitos sociales. El aliento de novedosas políticas públicas.

El respaldo a nuevas tecnologías. La generosidad hacia futuras generaciones, imprescindible para desplegar una auténtica transición energética que resuelva los cuatro problemas básicos del actual balance de energía. 1) Enorme dependencia de fuentes no renovables; 2) Altamente ineficiente; 3) Intensivo en emisiones de Gases de Efecto Invernadero; 4) Costoso y dispendioso. Sí. Estamos urgidos –de veras que sí– de una nueva matriz energética. 1) Sustentada al máximo posible en recursos renovables; 2) Lo más eficiente posible; 3) Con emisión mínima de Gases de Efecto Invernadero; 4) Con peso decreciente en la factura energética familiar, comercial, industrial, agropecuaria y pública. Sí, se exigen nuevos hábitos. Nuevas políticas. Definiciones de fondo. Graduales pero irreversibles. Nuevas respuestas a viejas preguntas. ¿Cómo mover y transportar personas y bienes? ¿Cómo resolver el bombeo de aguas potables, aguas negras, aguas de riego agrícola? ¿Cómo satisfacer necesidades de iluminación de hogares, oficinas, espacios públicos? ¿Cómo conservar alimentos y cubrir requerimientos de cocción, calentamiento de agua, acondicionamiento de temperatura en viviendas, oficinas, escuelas? ¿Cómo? La lista es larga. Interminable. Pero las respuestas son costosas y limitadas. En el mundo de hoy –reiterémoslo– consumimos casi 300 millones de barriles de petróleo equivalente al día. De ellos, estrictamente, alrededor de 100 millones de barriles de petróleo. El equivalente a 70 millones de gas natural y casi 80 millones de carbón. Una suma de combustibles fósiles del orden de 84%. Un porcentaje dominante, por lo demás no renovable. Y contaminante. ¡Lamentable! Su consumo representa alrededor de 37 mil millones de toneladas de CO₂ equivalente. Al año. Y la electricidad –con apenas cerca de 30 mil Teravatios-hora al año–, resuelve 20% de los usos finales de energía. Y más de 60% se genera con combustibles no renovables y contaminantes. Apenas 29% renovables (hidro, solar y eólica, básicamente). Y 39% limpias, si incluimos la generación nuclear. Por esa alta dependencia fósil, no renovable y contaminante, la generación de electricidad en el mundo es responsable de la tercera parte del CO₂ equivalente. Por eso, por cierto, lo que se discute hoy en México en torno a nuestro presente y nuestro futuro energético es de extrema

relevancia. Requiere altura de miras. Visión prospectiva. Estratégica. No la tuvo el anterior gobierno. El anterior Congreso. Robó los recursos naturales aplicables en la electricidad para aprovechamientos privados. Los señalados al final del texto aprobado y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1960. Sí, hace 60 años. “Corresponde exclusivamente a la nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.” ¿Recursos naturales que se requieren? Sí: aguas, sol, viento, entre otros. Imprescindibles hoy. Para electrificar el balance de energía. Y para descarbonizarlo. En una amplia visión de futuro que – reiterémoslo– exige nuevos hábitos sociales, nuevas políticas públicas, nuevos impulsos tecnológicos. Nuevos tiempos.

13. A manera de conclusión preliminar

Esta nota ha intentado identificar elementos de reflexión y debate sobre un proceso tan urgente para nuestro mundo contaminado de hoy. Asimismo, identificar una perspectiva adecuada para señalar condiciones, requerimientos y resultados de un tránsito tan complejo, pero tan relevante. Está en juego la salud de la población. Su bienestar integral. Y la salud de nuestra naturaleza. Pero también la recuperación de elementos de justicia social fundamentales. Bajo esta concepción, cuyas características se ha intentado presentar aquí, preciso es superar la visión de corto plazo, de ordinario justificada por las urgencias, pero insuficiente. Toda transición exige ser reflexionada, diseñada y evaluada en una perspectiva de mediano y largo plazos. ¡Imprescindible ingresar en la larga duración! Lo asegura el extraordinario miembro de la Escuela de los Anales, la fundada por March Bloch y Lucien Febvre a fines de la década de 1920. Sí, el Profesor Fernando Braudel, quien dio un “segundo impulso” al esfuerzo de síntesis historia-geografía. Y quien siempre insistió en la necesidad de estudiar las pulsaciones del mundo

material en el corto, mediano y largo plazos.²⁶ Estamos persuadidos –por cierto, y siguiendo a Braudel– de que los economistas, notables estudiosos de la estadística, la demografía y la economía política –diría Braudel– se presionan por el corto plazo. Y a veces olvidan el mediano y largo plazos. Pueden y deben –sugirió– apoyarse en la “vieja historia”, tan acostumbrada a identificar movimientos de larga duración. Sin preocuparse de que en esos movimientos surjan discontinuidades estructurales. Al contrario. Por ello, al imaginar el futuro no sólo hay que esperar continuidad, también –como en el pasado– esperar y acaso provocar esas discontinuidades estructurales. Derivadas de movilizaciones sociales y de transformaciones tecnológicas, ni siquiera imaginadas hoy. Sí –aseguró Braudel– la historia es especialista en largo plazo, en larga duración. En identificar movimientos, demoliciones y reconstrucciones, discontinuidades, rupturas y quiebras. Ayuda a la sociedad a descubrir las pulsaciones de su vida material. Y a desentrañar una complejidad orientada –diría Adam Smith– a allegarse el producto inmediato del trabajo o lo que este producto permite adquirir. Lo que viene con la transición energética –de extrema relevancia por el deterioro de nuestra naturaleza y de nuestra vida social– exige máxima atención. A movimientos, demoliciones, reconstrucciones. A continuidades y rupturas. Para superar –con cuidado y precaución– la época de las energías fósiles. Y recibir –con más cuidado y precaución– la época de la creciente electrificación. La de las energías renovables y limpias, acaso no tan limpias. Y no sólo por su “huella de carbono”. También por la afluencia de lamentables procesos de especulación y rentismo. ¡Atención a no caer en ingenuidades ni engaños! ¡Atención a trabajar desde el seno mismo de una sociedad capaz –principal reto– de imponer procesos, ritmos y fases! Para su bienestar y el de sus próximas generaciones. Y para ello –ayuda la conclusión del Profesor Braudel en su conversación en México– toda sociedad cuenta con una geografía y una civilización que la respaldan.

26 En México, por cierto, tuvimos la fortuna de escucharlo. En una brillante plática en el hermoso edificio de República de Cuba 92, en la entonces Escuela Nacional de Economía de nuestra UNAM. Sí, la dirigida entonces por el Profesor Emérito Ricardo Torres Gaitán, nuestro especialista en comercio exterior. Con sencillez admirable y –según lo confesó– por primera vez en español, el jueves 15 de octubre de 1953.

14. Para concluir estas notas preliminares

Antes de concluir insistamos en la necesidad de una transición energética integral y justa, lo que –sin duda– obliga a buscar caminos virtuosos. Sí, para acceder al gran objetivo de Cero Emisiones a partir del 2050. El reto es limitar el aumento máximo de temperatura en dos grados centígrados. Deberán ser caminos que no sólo impulsan gobiernos y políticas públicas. El consenso y la participación sociales son imprescindibles. Entre otras cosas porque parte sustantiva de los lineamientos a seguir compromete usos y costumbres sociales, en la disposición final de energía. La que permite iluminación, calefacción, aire acondicionado, cocción y conservación de alimentos, utilización de equipos de trabajo y entretenimiento, calor de proceso, movimiento de personas y mercancías, entre otros usos finales. En ese marco hay, al menos tres lineamientos esenciales. Y de largo aliento. Eficiencia energética integral. Electrificación del consumo final. Descarbonización de la generación eléctrica. El primero exige impulsar la eficiencia en producción, transformación, transporte, transmisión, consumo final y –también– manufactura de equipos e insumos y disposición de desechos y residuos. El segundo buscar máxima penetración de electricidad en esa energía final de hogares, industrias, edificios, servicios públicos, comercios, unidades agropecuarias y transporte. Y el tercero, lograr una generación de electricidad con máxima descarbonización, sustituyendo fósiles contaminantes y no renovables por energías renovables y limpias. Solar fotovoltaica y eólica, por lo pronto. Nuclear, seguramente, con mayor consenso social. Ya vendrán otras. Y ya vendrá –asegurémoslo– el necesario almacenamiento para las intermitentes y volátiles. Reconociendo, por cierto, el papel que el gas natural debe jugar en esta transición. Y el futuro próximo de la disponibilidad y uso de fósiles. Si se logra esa mayor eficiencia integral –técnicos *dixerunt*– el incremento de energía primaria necesaria podría ser cada vez menor. Incluso –aseguran– es posible un círculo virtuoso de consumo cada vez menor por unidad de producto, como indicador de esa eficiencia. Esto permitiría que los 275 millones de barriles de petróleo equivalente que se consumen hoy diariamente en el mundo, llegaran en

el año 2050 a no más de 250 millones.²⁷ Gran reto acceder al Escenario Cero Emisiones en 2050. Sin renunciar –agregan– a los imperativos de mayor bienestar y justicia social, como abatir y erradicar el hambre, la pobreza, la desigualdad, la explotación social y sus causas. La segunda y tercera medidas se desprenden de la realidad y el panorama tecnológicos. Salvo sorpresas, el proceso de generación de electricidad hoy acepta la máxima sustitución de fósiles contaminantes y no renovables, con las fuentes solar fotovoltaica y eólica. Así, si la electricidad llega a representar no menos de la mitad del consumo final de energía en 2050, estar ciertos que 80% provenga de fuentes renovables. Aunque... ¡Cuidado! Pese a sus grandes ventajas –siempre viendo la huella de carbono– no se pueden ignorar sus problemas. Para atenderlos con astucia. Por ejemplo, indisponibilidad continua; variabilidad temporal; baja eficiencia de conversión; alto costo inicial; gran espacio de instalación; falta de coincidencia entre áreas de recursos y áreas de demanda: emisiones en procesos previos y posteriores; exigencia de sólidos reforzamientos de redes. Pero todo esto no niega sus enormes ventajas. Primordialmente renovabilidad, nulo o bajo costo variable de producción y ausencia de emisiones en la generación. Por ello, es necesario revisar mecanismos, formas y costos de integración a los sistemas eléctricos, pues dadas su intermitencia y su volatilidad, no se pueden comprometer ni la seguridad ni la confiabilidad del suministro eléctrico.

27 Necesario ingresar al debate de escenarios de futuro formulados por la Agencia Internacional de Energía y otras dependencias gubernamentales y sociales. Consúltese, por ejemplo International Energy Agency, Net Zero by 2050, A Roadmap for the Energy Sector, Paris 2021. Pero también EIA, Energy Outlook, 2023. March 16, 2023. Asimismo, ideas, proyectos y perspectivas de organismos como The Shift Project. <https://theshiftproject.org/en/home/>

Bibliografía y referencias

- British Petroleum (*Statistical Review of World Energy 2022* (con datos al 2021), London 2022 (<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>))
- Britannica, <https://www.britannica.com/science/ecological-footprint>.
- Carral, Alberto, El choque por los recursos, *Economía*, 10 marzo 2023, Rebelión. (<https://rebelion.org>)
- Dávila Flores, Alejandro y Valdez Ibarra Miriam, México. Costos Económicos de las actividades “no esenciales” por la pandemia Covid-19. Análisis multisectorial y regional con modelos SAM”, en *Economía Teoría y Práctica* [ISSN: 2448-7481] Nueva Época, Numero especial, diciembre 2020, pp. 15-44. (<http://www.shaio.es/>) y (<http://dx.doi.org/10.24275/ETYP/NE/E052020/Davila>),<http://www.shaio.es/>)
- Dávila Flores, Alejandro y Valdez Ibarra, Miriam, Del Carbón a las Renovables, Análisis económico para la transición eléctrica en México, Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, UK PACT, WWF México, marzo 2021.
- Deloitte, (<https://blogs.deloitte.co.uk/mondaybriefing/2021/06/the-fourth-energy-transition-the-lessons-and-limits-of-history.html>)
- Environmental Protection Agency (EPA), Climate Change, Facts, Addressing, Connections, USA 2023 (<https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>).
- Environmental Protection Agency, Medio Ambiente (en español). (<https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>)
- Fuery, Seven major challenges of a power grid and their solutions, 2023 (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics>)
- International Energy Agency (IEA), World Energy Balances, (2019 y 2020 editions) *Typeset in France by IEA - August 2019 and 2020* (<https://www.iea.org/>)
- International Energy Agency (IEA), World Energy Balances Highlights (2022 edition) (<https://www.iea.org/>)
- International Energy Agency, IEA, *CO2 Emissions in 2022*, France, March 2023.

- International Energy Agency, Net Zero by 2050, A Roadmap for the Energy Sector, Paris 2021). Pero también EIA, Energy Outlook, 2023. March 16, 2023. Asimismo, ideas, proyectos y perspectivas de organismos como *The Shift Project*. <https://theshiftproject.org/en/home/>
- International Energy Agency, Net Zero by 2050, A Roadmap for the Energy Sector, Paris 2021). Pero también EIA, *Energy Outlook*, 2023. March 16, 2023.
- Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change, Energy Perspective and Emissions, 2023 Index, (<https://www.ipcc.ch/>)
- IPCC (Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change), AR6 Synthesis Report (SYR), (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle>)
- Lance Taylor, Lance and Foley Duncan K and Rezai Armon, An Integrated Approach to Climate Change, Income Distribution, Employment and Economic Growth, *Ecological Economics*, Volume 146, April 2018 pp 164-172
- Matusky Jan and Kocy Vladimir, What is a footprint, A conceptual analysis of environmental footprint indicators, October 2020 in *Journal of Cleaner Production*, Volume 285, 20 february 2021.
- The Shift Project, ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DIGITAL TECHNOLOGY: 5-YEAR TRENDS AND 5G GOVERNANCE Updated prospective scenarios for the environmental impacts of global digital technology, and proposals for a reasonable 5G deployment, March 2021
- The Shift Project, TRAINING FOR A FINANCE SERVING THE TRANSITION SUMMARY – DECEMBER 2022
- United Nations Statistical Division (UNSD, Energy Statistics 2023. (<https://unstats.un.org/unsd/energystats/>)
- United Nations, “For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action, <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>)
- United Nations Environment Programme (UNEP), El aumento de las temperaturas mundiales es alarmante, 2023 (<https://www.unep.org/>)
- World Bank, International Data 2023 en (<https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378832-what-is-the-world-bank-atlas-method>)
- World Inequality Lab, *Climate Inequality Report 2023*, January 2023 (<https://wir2022.wid.world/>)
- World Inequality Lab., *Climate Inequality Report 2023*, (<https://wid.world/wp-content/uploads/2023/01/CBV2023-ClimateInequalityReport-2.pdf>)