
Delfina Godfrid y Juan Ignacio Arroyo

Elefantes en la transición energética



Delfina Godfrid. Licenciada en Relaciones Internacionales, Universidad de San Andrés. Maestría en Derecho y Economía del Cambio Climático, FLACSO.

Juan Ignacio Arroyo. Licenciado en Economía, Universidad Nacional de La Plata. Especializado en Economía Circular y Desarrollo Ecosistémico. Co-fundador de 'Ahora Qué?'

Citar como: Godfrid, D. & Arroyo, J. I. (2022). Elefantes en la transición energética. CEPE Di Tella.

Introducción

La descarbonización es uno de los desafíos más complejos de nuestros tiempos. Avanzar en esa dirección requiere combinar diagnósticos realistas y pragmáticos, pero también disputar sentidos comunes y horizontes. En este documento describimos siete grandes puntos que sintetizan algunos de los principales desafíos, complejidades y realidades que tenemos que enfrentar en la transición energética. El objetivo es aportar tanto a la construcción del camino que tenemos que llevar adelante, como de nuestro horizonte.

La primera complejidad que abordamos es transversal a cualquier transformación del sistema energético: la desigualdad en el consumo de energía y la generación de emisiones, tanto entre países como dentro de ellos. El segundo punto es una realidad: necesitamos reducciones abruptas, pero las transiciones globales han sido y están siendo lentas. A continuación, presentamos tensiones emergentes en la agenda de la política energética actual, bajo la premisa de que si queremos acelerar esta transición, debe ocupar un lugar prioritario. También describimos los grandes desafíos técnicos que nos esperan, consideraciones como la intermitencia, la densidad y la escalabilidad de las fuentes energéticas limpias. Seguimos con el conflicto de intereses entre naciones frente a la transición según la posición relativa en la que se encuentra cada país. Así también describimos el desafío que comprende la necesidad de minerales para la transición

energética e introducimos el concepto de huella material. Terminamos con algunas posibilidades de transformación, y dejando muchas preguntas.

1. Desigualdades: consumo energético y emisiones

El mundo no está encaminado para cumplir con las metas establecidas en el Acuerdo de París (Climate Action Tracker, 2022), y cada vez se dificulta más ponerle número a todo el futuro que está en juego. Necesitamos reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) de forma abrupta para evitar las peores consecuencias de la crisis climática, pero ni siquiera están bajando.

EL SECTOR ENERGÉTICO ES EL PRINCIPAL RESPONSABLE DE LAS EMISIONES A NIVEL MUNDIAL, REPRESENTA EL 73% DE LAS EMISIONES DEL MUNDO (OUR WORLD IN DATA, 2020).

La vida tal cual la conocemos se sustenta en base a este sector, pero no todos vivimos igual y, por tanto, no tenemos los mismos consumos de energía.

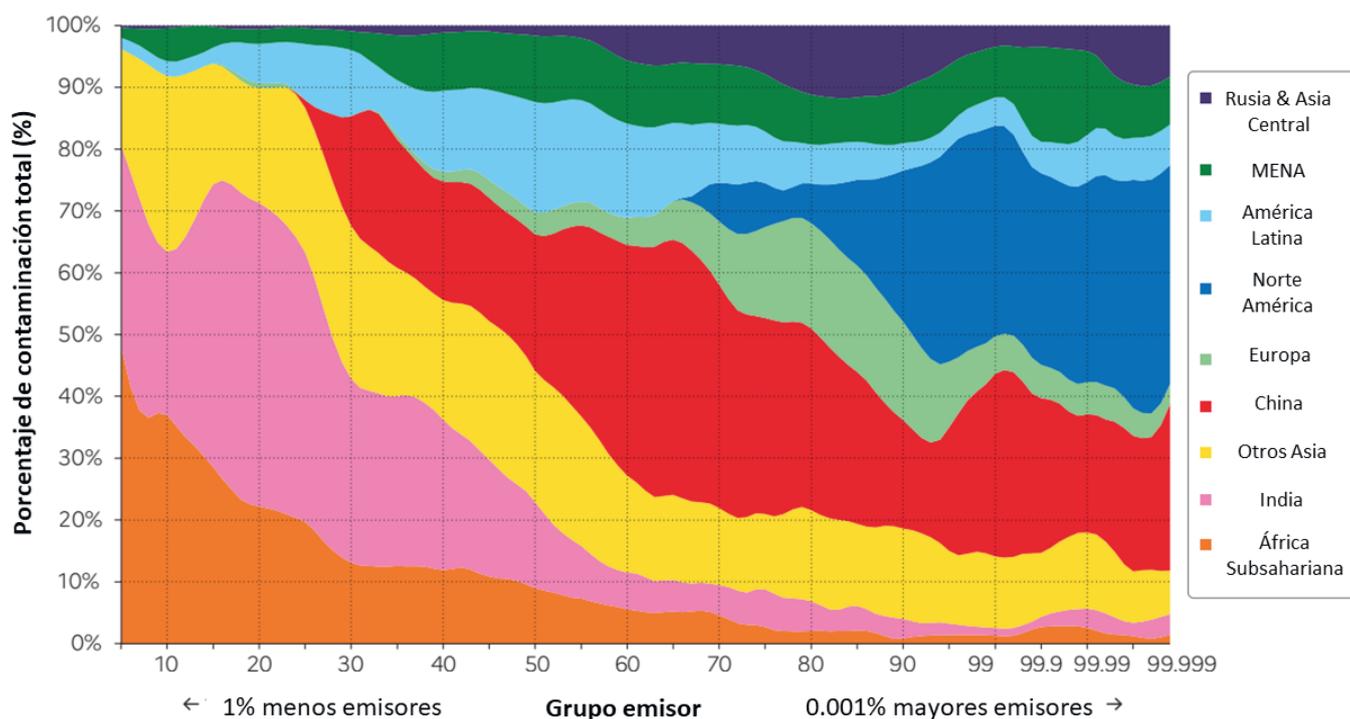
La regla general es que para sostener estilos de vida más lujosos se necesita más energía. Se ha encontrado que, a medida que aumenta la desigualdad de ingresos, la desigualdad en el consumo de energía aumenta más rápido (Oswald et al., 2020). Esto sucede porque a medida que incrementa la riqueza de las personas, estas acceden a bienes y servicios de lujo intensivos en energía, como los vehículos particulares o los viajes en avión. De hecho, un estudio de 86 países encontró que el 10% de las

personas más ricas consumen el 39% de la energía final total, mientras que el 10% menos rico consume alrededor del 2%, 20 veces menos (Oswald et al., 2020).

Que la desigualdad económica vaya de la mano de la desigualdad de consumo de energía es un factor de relevancia para explicar la desigualdad en términos de generación de emisiones. Al respecto, en la figura 1, que fue traducida del World Inequality Report, muestra la proporción de regiones en cada grupo de emisores globales, desde el 1% inferior hasta el 0,001% superior (Chancel et al., 2022). Puede observarse que dentro de una misma región coexisten personas con grandes emisiones y otras con muy bajas.

Aunque hay un claro vínculo entre el ingreso y el consumo de energía, así como la generación de emisiones, éste no es perfecto. Lo que tiene que ver con una multiplicidad de variables como el clima, la cultura de consumo, la estructura económica, la tecnología, la infraestructura, la política, etc. Un dato que llama la atención es que la mitad más pobre de la población de Estados Unidos tiene niveles de emisión semejantes a los del 40% medio europeo, a pesar de ser casi el doble de pobre (Chancel et al., 2022). Es así que países con PBI similar utilizan distinta cantidad de energía y generan emisiones disímiles (Our World in Data, 2015). Así también, países con índice de desarrollo humano (IDH) parecido tienen distintos niveles de consumo energético (Smil, 2018). Smil señala que esto último tiene que ver con que el IDH se incrementa con el consumo energético hasta un punto de saturación. Luego de aquel punto —digamos, el consumo energético de Italia— la relación se rompe y más consumo de energía no implica un impulso significativo al desarrollo humano.

Figura 1: Composición geográfica de los grupos globales de emisores, 2019



Fuente: traducida de Chancel et al., 2022, pág. 127

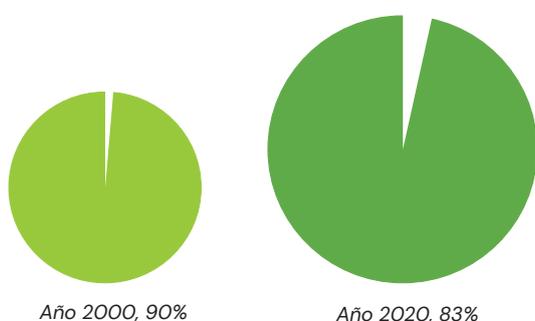
Es importante que los cambios que la transición energética implica comprendan las transformaciones sociales pendientes. El cambio del sistema energético no es un fin, sino un medio para vivir mejor. La transición energética no trata de sustituir carbón por viento, sino evitar catástrofes climáticas con el objetivo de garantizar el bienestar de nuestras comunidades hoy y en el futuro. La idea no es detener la transición hasta alcanzar un paquete de políticas energéticas que resuelvan todos nuestros problemas, pero por lo menos procurar que las decisiones que se tomen incorporen análisis y consideraciones suficientes para no reproducir lo que queremos dejar atrás. **La gran complejidad es encontrar diversas soluciones parciales que estén unidas por una mirada integral que sirva para sortear el riesgo de que el conjunto de acciones sea complementario y no se solapen o contrapongan.**

2. Temporales: las transiciones globales han sido y están siendo lentas

El ritmo de las transiciones energéticas nacionales ha variado de muy lento (más de un siglo) a muy rápido (sólo unos pocos años) (Smil, 2010). Sin embargo, las transiciones energéticas globales siempre fueron y son lentas. Esto es así porque implica grandes cambios en toda la cadena energética: en la generación, distribución y consumo final. Además, la escala de las grandes economías hace que tengamos dependencias inerciales: arrastramos nuestro pasado.

EL PETRÓLEO TARDÓ 40 AÑOS EN PASAR DEL 5% AL 25% DEL SUMINISTRO PRIMARIO MUNDIAL (1915-1955) Y EL GAS NATURAL CASI 60 AÑOS (SMIL, 2016).

En el año 2000, la dependencia mundial de los combustibles fósiles rondaba el 90% y 20 años después este porcentaje sólo se redujo a 83%.



Que la participación de estos combustibles en el mix energético se haya reducido sólo 7% en 20 años (Smil, 2022) no quiere decir que hoy consumamos menos hidrocarburos que antes, al contrario: el consumo actual es un 40% superior al de aquel entonces (Our World in Data, 2017). Esto muestra otra de las características de la historia de las transiciones energéticas hasta acá: nunca reemplazamos una fuente por otra, sino que más bien agregamos nuevas fuentes a las anteriores. La historia de las transiciones energéticas ha sido una historia de adiciones. Sin embargo, si queremos que las emisiones bajen, necesitamos consumir menos fósiles, no “menor proporción” de una torta más grande. Esto es especialmente desafiante en un mundo donde el consumo de energía crece una media del 1-2% anual y la mayor parte (80%) procede de los combustibles fósiles

(Ritchie et al., 2020). Para avanzar en contra de una escalera mecánica, necesitamos ir más rápido (Ged, D. & Goldemberg, J., 2012).

3. Prioridades políticas: marchas y contramarchas

Si queremos acelerar esta transición, debe ocupar un lugar prioritario, por lo menos entre quienes tienen mayor responsabilidad. Un factor que diferencia y podría acelerar el ritmo de esta transición es que es una transformación consciente, en cuanto hay múltiples actores públicos y privados comprometidos en intentos activos por un objetivo concreto: impulsar la descarbonización (Kern y Rogge, 2016). Sin embargo, aunque la transición energética está en marcha, no es un proceso lineal ni certero. Por el contrario, se suma a la disputa de poder de las agendas de alto nivel. De hecho, el actual contexto geopolítico de energía cara, escasa y conflictiva corrió la atención de las políticas hacia la seguridad energética.

Por nuestra dependencia del consumo de energía, los riesgos en su suministro es algo que los Estados no pueden permitir. Con la recuperación de los precios internacionales de la energía post-pandemia y la guerra en Ucrania, hubo una reversión de la política energética de transición, al menos en el corto plazo (Samandari et al., 2022). Por ejemplo, varios países retomaron el consumo de carbón para frenar el efecto de los costos crecientes del resto de los combustibles fósiles. En consecuencia, se espera un incremento anual del 7% en la demanda de carbón de Europa durante el 2022, por encima de su último incremento anual del 14% (IEA, 2022). Global-

mente, si bien no se registraron modificaciones en los compromisos internacionales de abandono progresivo al carbón como combustible suscritos en la COP 26 (UK, 2021), para el 2022 se proyecta un aumento anual del 0.7% en su demanda. Se proyecta que se alcanzará el récord de demanda de carbón de hace una década y que seguirá creciendo en el 2023 hasta superar el máximo histórico (IEA, 2022).

4. Técnicas: “es todo un tema”

Aunque transicionar hacia una matriz energética limpia sea nuestra máxima prioridad, lo cierto es que todavía no tenemos las respuestas para deshacernos de los combustibles fósiles por completo. Reemplazarlos es como buscarle un reemplazo a Messi en la selección argentina de fútbol. Si bien en el ámbito futbolístico es muy sencillo darse cuenta de que Messi hay uno solo y que sus características no se pueden replicar, en el ámbito energético damos por sentado a los combustibles fósiles, creyendo que son algo “cotidiano”, que siempre estuvieron y siempre estarán. Esto es lo que el economista Nate Hagens llama “ceguera energética”, cuando dice que nuestra especie se sacó la lotería al descubrir el petróleo (Hagens, 2022), un bien que derrochamos sin criterio a una tasa 500.000 veces superior de lo que el recurso tarda en reponerse, alterando los ciclos de carbono, la composición de la atmósfera y el nivel de ácido de los océanos (Murphy, 2021).

La mayoría de las fuentes de energía renovables sirven solamente para reemplazar a los fósiles en la generación de la electricidad, lo que representa única-

mente alrededor de la tercera parte de nuestros consumos totales. Por tanto, un imperativo técnico de la transición energética es avanzar con la electrificación de todos los usos finales y procesos industriales posibles, lo que implica costos y desafíos de sustitución o modificación de la infraestructura. A su vez, frente a consumos que no pueden electrificarse entran en escena los biocombustibles y la promesa del hidrógeno verde, un jugador que recién está haciendo sus primeros pasos en las inferiores y tiene mucho que demostrar en las próximas décadas.

Otro desafío es que algunas de las energías renovables modernas son intermitentes y (todavía) no son fácilmente almacenables a gran escala (Cape-llán-Pérez et al., 2019). Frente a la necesidad de satisfacer una demanda energética variable pero permanente, se las suele complementar con fuentes de energía más flexibles y que no dependan ni del día ni la hora, como el gas, ciertos tipos de energía hidroeléctrica (de bombeo o embalse) o la energía nuclear. En relación a la nuclear, el hecho de que una central está activa a pleno rendimiento el 90% del año (Gadano, 2021) puede ser clave para brindar estabilidad, sin embargo, aunque su flexibilidad varía según el diseño y el tipo de unidad, sus grandes turbinas de vapor tienden a estar del lado menos flexible del espectro (IRENA, 2018).

Al momento de pensar el mix energético al que se apunta llegar, la densidad y escalabilidad de las energías son otras dimensiones a tener en cuenta. La energía nuclear e hidroeléctrica tienen una alta densidad, pero su escalamiento está limitado fundamentalmente por las grandes inversiones iniciales, extendidos tiempos de construcción, licencia social o impactos ambientales locales (Inderscience Publishers, 2008). Frente a estos desafíos emergen innovaciones vinculadas con la reducción de la escala de los



proyectos. En el caso de la energía hidroeléctrica existen los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. En el caso de la nuclear, a la frase “lo pequeño es hermoso” habría que sumarle “pero es complejo”, en tanto la comercialización de reactores modulares pequeños siguen siendo una promesa (Gadano, 2021). En contraposición, aunque los paneles solares y eólicos enfrentan menos restricciones en relación a su escalabilidad, tienen otros desafíos a la hora de su despliegue para satisfacer grandes volúmenes de demanda, como su baja densidad (Smil, 2019).

Dado que cada fuente de energía tiene sus beneficios y limitaciones, algo característico de esta transición energética es la búsqueda de una matriz diversa donde las distintas fuentes de generación se complementen entre sí, en función de cada contexto específico. La idea no es esperar a que descubramos un talento que reemplace por sí solo a Messi, sino apostar por un conjunto de jugadores que, aunque cada uno tenga sus limitaciones, como equipo funcionen

bien. **Buscar el protagonismo de distintas tecnologías bajas en carbono diferencia esta transición de las pasadas: no tiene que dominar una, sino la suma de todas.**

La diversificación abre las puertas a que muchas regiones puedan aprovechar sus recursos disponibles para reducir importaciones de combustibles costosos, fortalecer la seguridad en el suministro, contribuir al desarrollo productivo y aprovechar ventanas de oportunidad para la generación de nichos tecnológicos. A su vez, la diversificación puede dotar de mayor resiliencia al sistema energético, que también es vulnerable a los efectos de la crisis climática. Por ejemplo, la energía hidráulica y ciertas tecnologías nucleoelectricas son vulnerables a las sequías. En 2021 esto pudo verse en Latinoamérica con la bajante del río Paraná, que puso en riesgo la toma de agua de centrales térmicas, núcleo-eléctricas y claro que al funcionamiento de la generación de energía hidroeléctrica (Eco Journal, 2021).

Entre los beneficios diferenciales que traen las energías limpias por su posibilidad de gestionarse a baja escala, de forma descentralizada y adaptarse a distintos entornos, se abre la oportunidad para “redistribuir desde la energía”, mediante una gestión más democrática de la misma que contribuya a transformar las características menos deseables de un sistema energético que suele ser centralizado, desigual y conflictivo (Bertinat et al., 2022). Una tendencia interesante son los proyectos de generación de “energía descentralizada comunitaria” donde se montan centrales pequeñas o medianas de generación de energía limpia cercana a los puntos de consumo a precios competitivos para abastecer a un determinado número de hogares o parques industriales, que a su vez implique rentabilidades para los inversionistas (Energía Estratégica, 2020). Los proyectos de energía descentralizada permiten sortear las dificultades del transporte, de las que los argentinos estamos familiarizados: el mismo problema que tenemos con el gasoducto lo tenemos con el transporte eléctrico (Energía Estratégica, 2022).

Otro gran desafío es que al momento no hay alternativas a gran escala para descarbonizar la producción de lo que se conoce como los pilares de nuestra civilización, esto es, acero, cemento, amoníaco y plástico. Estos elementos tienen algo en común: no es fácil sustituirlos por otros materiales, vamos a necesitar más de ellos en el futuro, y su producción a gran escala depende en gran medida de la combustión de combustibles fósiles. Su producción global consume el 17% del suministro total de energía anual, y genera alrededor del 25% de todas las emisiones de carbono producto de la combustión de combustibles fósiles (Smil, 2022b).

A favor de la posibilidad de lograr las innovaciones que necesitamos para sortear estos desafíos y acelerar la

transición, la literatura destaca que la situación de gran interconexión global puede impulsar mecanismos dinámicos de retroalimentación y co-evolución tecnológica favorables a la transición energética. Un caso que ejemplifica esto es el despliegue de la energía solar fotovoltaica en Alemania, que desencadenó una inversión masiva en China, y redujo significativamente los costes de los módulos solares, acelerando así la difusión de la energía solar FV a nivel mundial (Quitrow, 2015).

Una última consideración es que así como a Messi le quedan cada vez menos años como jugador profesional, la era gloriosa de los fósiles también está enfrentando limitaciones. La evidencia muestra que durante el último siglo la cantidad de energía necesaria para producir energía es cada vez mayor, ya que los yacimientos de mejor calidad y más fácil acceso se utilizan al principio, dejando los de inferior rendimiento y mayor costo para el final (Hall, et al., 2013; Sers et al., 2018; Brockway et al., 2019). Hoy, la producción de combustibles líquidos demanda aproximadamente el 15% de la energía generada por esos mismos combustibles, y para 2050 se estima que la mitad de la energía que generen va a ser deglutida en su propia producción (Delannoy et al., 2021). He aquí otro gran elefante en los salones de discusión energética.

5. Intereses: ¿y yo qué gano?

Una de las mayores complejidades del actual proceso de descarbonización es el conflicto de intereses según la posición relativa en la que se encuentra cada país. Dependiendo de su situación, cada

nación tendrá distintos riesgos u oportunidades. En general, los países productores de hidrocarburos se encuentran expuestos a sufrir pérdidas geopolíticas significativas, mientras que los países industrializados que a su vez son importadores de combustibles fósiles podrían resultar beneficiados (Van de Graaf, 2019; Ansari et al., 2020).

Un ejemplo es Dinamarca, que en 2019 exportó cerca del 40% de los aerogeneradores que se vendieron en todo el mundo. En el caso de China, como puede verse en la figura 2, la transición energética le resulta beneficiosa desde el punto de vista de la producción en cuanto, además de dominio tecnológico, concentra recursos clave para la descarbonización (JP Morgan, 2022).

**CHINA
PRODUCE
UN TERCIO DE
LAS TURBINAS
EÓLICAS DEL
MUNDO, EL 70%
DE LA ENERGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA Y
ALBERGA TRES CUARTAS
PARTES DE LA CAPACIDAD
MUNDIAL DE FABRICACIÓN
DE BATERÍAS DE IONES DE
LITIO (Ladislaw et al., 2020).**



Pero no todo es blanco y negro: China ocupa el primer lugar como consumidor de carbón del mundo (Enerdata, 2022), al mismo tiempo que es líder en términos de inversión en energías renovables

Figura 2: Cuota de mercado mundial de la producción renovable

	China	EEUU	UE
EMBARQUES DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS	63%	<5%	<5%
LIBRO DE PEDIDOS DE CAPACIDAD EÓLICA	46%	14%	40%
CAPACIDAD DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS DE IONES DE LITIO	79%	6%	9%
PROCESAMIENTO/REFINAMIENTO DE MINERALES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	79%	1%	6%
PRODUCCIÓN DE CÁTODOS Y ÁNODOS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	85%	1%	1%

Fuente: JPMorgan, 2022

y transporte eléctrico (Bloomberg NEF, 2022).

El punto es entender que estamos participando de un juego en el que cada país no da pasos sin preguntarse “qué va a ganar”. En general, las naciones intentan obtener el mayor rédito posible de su dotación de recursos energéticos y capacidades productivas, en función de su contexto.

En relación al caso de la Argentina, el proceso de descarbonización global encuentra al país con abundantes recursos energéticos, tanto renovables como hidrocarburíferos, así como ciertas capacidades tecnológicas construidas

en cadenas de valor asociadas a las energías limpias (Fundar, 2021). **Estos factores pueden verse como una oportunidad para apalancar capacidades nacionales en la búsqueda de una matriz con energía asequible, no contaminante y accesible (Drucaroff et al., 2020; Roger, 2019).** Sin embargo, la actual transición energética también encuentra a la Argentina con inestabilidad macroeconómica, lo que desmotiva la asunción de riesgos financieros necesarios para el cambio (situación agravada por más de diez años de déficit comercial energético).

Dado el despliegue de infraestructura, el know-how existente para el aprovecha-

Figura 3: Diez medidas principales en sector transporte, industria y residencial, ordenadas según ahorro económico sistémico

Número	Medida	Costos totales (MM USD)	USD/Bep ahorrado	Emisiones evitadas total (MM ton)	Energía evitada total (kTep)
1	CARPOOLING AP	-2.828	-19,1	-55,5	-20.568
2	TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN AP	-1.144	-18,5	-23,2	-8.601
3	DISPOSITIVOS AERODINÁMICOS CAMIÓN PESADO	-800	-21,2	-15,7	-5.233
4	ECONOMIZADOR AP	-786	-6,5	-26,8	-16.927
5	USO RACIONAL AP	-717	-7,3	-23,4	-13.602
6	TEMPERATURA CALEFACCIÓN AP	-664	-7,1	-22	-12.958
7	COLA DE BOTE CAMIÓN PESADO	-635	-21,1	-12,5	-4.186
8	AUTOS LIMITACIÓN DE VELOCIDAD AP	-502	-13,5	-13,9	-5.151
9	PETROQUÍMICA COGENERACIÓN	-483	-11,1	-1,6	-6.052
10	CONSUMO RACIONAL CAMIÓN PESADO	-473	-21	-9,4	-3.122

Los valores negativos representan ahorros. Nota: AP = Escenario de alta penetración.
Fuente: Fundación Bariloche, 2021

miento de hidrocarburos, y que las proyecciones energéticas estiman que el mundo seguirá demandando estos combustibles durante las próximas décadas —no menos del 70% de la demanda global al 2040 (World Energy Council, 2019)—, no sorprende la conclusión de que Vaca Muerta puede contribuir a revertir el déficit energético crónico y fortalecer la macroeconomía (Funder, 2022). Ningún activista climático es hincha de Vaca Muerta, pero, a la hora de tomar decisiones para viabilizar el cambio, es importante tener en cuenta todas las cartas que tiene el país de la forma más estratégica posible. En este contexto, para traccionar las respuestas necesarias creemos que es importante hacernos preguntas como: ¿qué pasaría si Vaca Muerta permitiera aportar recursos que viabilicen inversiones en eficiencia energética, obras de infraestructura o en la expansión de fuentes alternativas? Para que así sea, ¿cómo podemos generar mecanismos que garanticen el destino de esos fondos? ¿Cómo podemos evitar que se forjen nuevas dependencias estructurales que deterioren la competitividad climática de nuestra matriz productiva? ¿Hay alternativas?

A su vez, mientras modificamos nuestra matriz energética, es importante que la generación de energía a partir de fuentes fósiles emita lo menos posible en lo que le queda de tiempo. Estamos hablando de una diversidad de acciones, desde electrificar y alimentar mediante renovables al bombeo mecánico en el upstream, hasta eliminar el flaring y aprovechar el gas excedente en las operaciones. La IEA (2021a) estima que sólo con el uso de buenas prácticas se podrían reducir las emisiones de metano en operaciones de oil & gas en un 15%.

El beneficio de las acciones de uso racional de la energía y de eficiencia energética —tanto en los procesos relacionados a la oferta, como a la demanda de energía— es que conjugan muy bien

los beneficios ambientales, sociales y económicos, permitiendo reducir las emisiones de forma costo-efectiva. Por ejemplo, el Plan Nacional de Eficiencia Energética Argentina de la Fundación Bariloche (2021) muestra que implementando un paquete de 10 medidas se podría ahorrar el 40% de energía y u\$s 9 mil millones (figura 3).

Por último, entre grises y encrucijadas, volviendo al caso de la Argentina y los intereses e incentivos para la descarbonización del sector hidrocarburífero, es interesante pensar que un escenario donde se incrementa la exportación de gas natural licuado (GNL) en un contexto donde se acentúa el concepto de competitividad climática, podría incentivar a las empresas exportadoras a que lleven adelante acciones de descarbonización del sector en respuesta a exigencias internacionales de alcanzar una producción lo más limpia posible. Por ejemplo, si el upstream y midstream de la cadena productiva del gas se electrifica en la mayor medida de lo posible y es abastecida por energías renovables, habría más gas disponible para exportar. La misma lógica puede trasladarse a la matriz nacional: podría pensarse un escenario donde haya incentivos para satisfacer la demanda de energía nacional con energía renovable para poder destinar el gas a la exportación. El efecto climático agregado de la exportación de gas desde la Argentina va a depender de una diversidad de variables, como a quién se le exporte, qué se sustituya por qué —si el gas sustituye carbón, mejor— y de la capacidad de controlar las emisiones fugitivas durante las etapas de extracción y transporte (Howarth, 2014; IAPG, 2020).

6. Materiales: un elefante de cobre en la sala

Otro elefante en la sala —si es que entran más— es el de la dependencia material y la disponibilidad de minerales críticos. Si las energías limpias en emisiones crecen, también lo hará la necesidad de metales, minerales y otros materiales para construir desde turbinas eólicas, hasta paneles solares y baterías. De hecho, de acuerdo a la IEA (2021b), el aumento de la generación de energía con bajas emisiones de carbono puede implicar que se triplique a nivel mundial la demanda de minerales para el sector energético para 2040. Por dar un ejemplo, una planta eólica terrestre necesita 9 veces más minerales que una central eléctrica de gas de la misma capacidad (IEA, 2021b).

Los escenarios energéticos suelen suponer que los mecanismos económicos de mercado y la innovación tecnológica se encargarán de que siempre haya materiales disponibles para poder multiplicar la producción de energías renovables y autos eléctricos todo lo que queramos (IEA, 2021b). Sin embargo, hoy existe un desajuste entre las ambiciones climáticas y la disponibilidad de minerales críticos necesarios para hacerlas realidad (Michaux, 2021; Turiel, 2022). El cuello de botella no está en la existencia de recursos, sino en el retraso en la ampliación de la capacidad de extracción y procesamiento (ONU, 2022). Desafío que requiere trabajar con tiempo y en profundidad la licencia social de los territorios donde se encuentran los recursos, como también pensar en términos geopolíticos.

Dado que con la tecnología que tenemos hoy las reducciones de emisiones de hidrocarburos tendrán como contrapartida un aumento en la extracción de minerales y materiales,

cuando hablamos de crisis climática y ecológica también tenemos que hablar de huella material. **La huella material se refiere a la extracción de recursos naturales para satisfacer la demanda final de una economía (incluye materiales extraídos fuera del país e importados) (Čuček et al., 2015). Según la UNEP (2019), el 90% de la pérdida de diversidad biológica y del estrés hídrico resulta de la extracción y transformación de los recursos naturales, en sus distintas formas.**

Estudios muestran que sin planificación estratégica, el aumento en la extracción de minerales para las energías renovables exacerbaría aún más las amenazas contra la biodiversidad (Sonter et al., 2020). Tanto la huella de carbono como la material, en sus diversas formas, están presionando distintos sistemas fundamentales del planeta hacia puntos de no retorno (Lenton et al. 2019).



La introducción de la noción de huella material evidencia una vez más que el desafío de la descarbonización va más allá de un mero reemplazo de fuentes de energía. Es difícil no toparse con límites planetarios en un sistema productivo lineal, donde la infraestructura pero también la mayoría de los bienes y servicios que producimos, no se diseñan para ser desarmados y re-aprovechar sus materiales. Acá yace el gran desafío al

que se enfrenta nuestro sistema socioeconómico: su principal impulsor, la demanda de bienes y servicios, es al mismo tiempo el principal determinante de los impactos ambientales (Wiedmann et al., 2020). Hasta hoy, el propio motor de la actividad económica deteriora sus condiciones de posibilidad, es decir, las bases físicas sobre las cuales se sustenta (Steffen et al., 2015).

7. Condición de borde: las reglas de juego

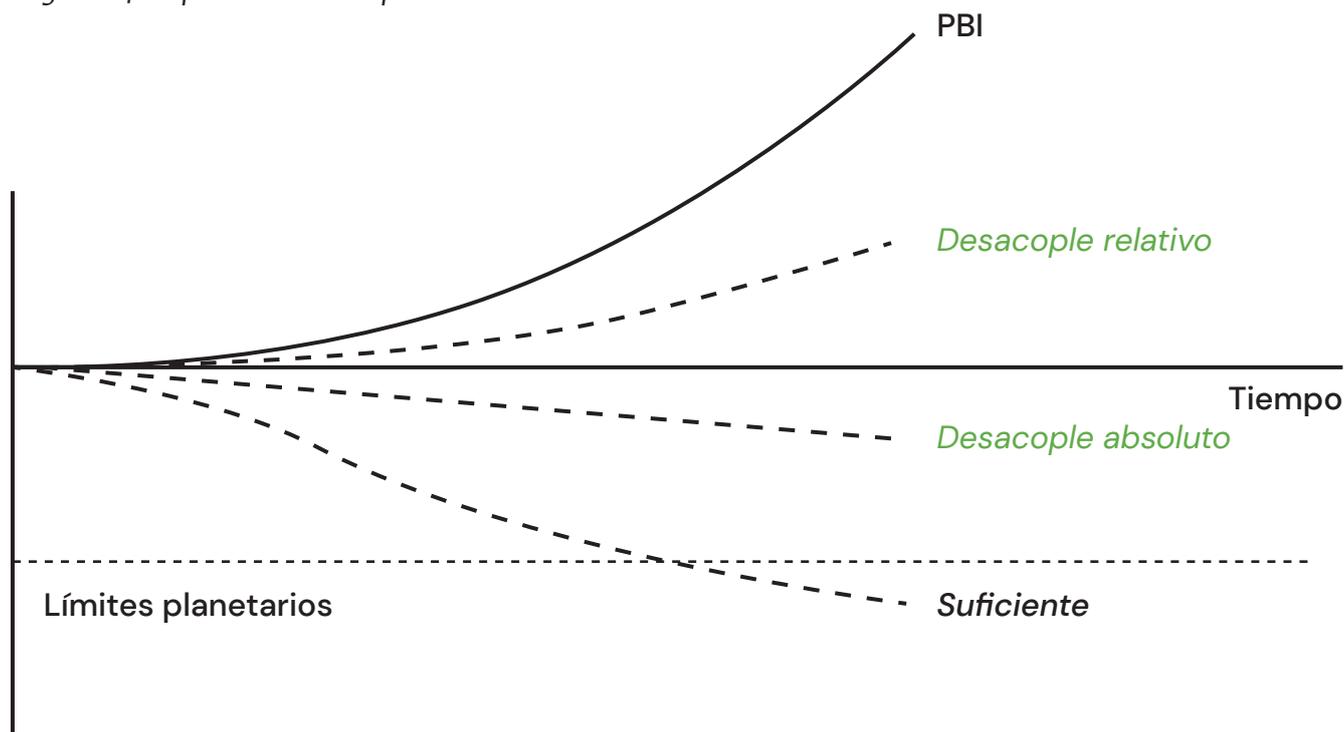
Ante esta realidad, emerge en la narrativa económica la concepción de que es posible desacoplar (separar, bifurcar, desenganchar) la actividad económica de sus impactos ambientales, principalmente mediante mejoras tecnológicas y ganancias de eficiencia (Giampietro & Funtowicz, 2020; Fankhauser et al., 2017; Hallegatte et al., 2012). Como contracara, hay quienes sostienen que no hay evidencia suficiente de que eso sea factible, por lo que, lo que en realidad se requiere, es un desacople entre la generación del bienestar y el crecimiento de la actividad económica (Ward et al., 2016; Hickel & Kallis, 2019; Arroyo, 2020). Es decir, un cambio en el funcionamiento sistémico. La primera concepción se vincula al crecimiento verde, y en cierta manera, plantea el uso de herramientas que tenemos a mano, dentro de las reglas de juego actuales. La segunda critica las reglas de juego en sí mismas y se asocia a estrategias que responden a imperativos distintos, aquí emergen las estrategias de post-crecimiento.

7.1 Desacoples, en plural

El crecimiento verde es la idea de que las economías puedan crecer sin que esto genere impactos ambientales. Lo primero a entender cuando se habla de desacople es que hay distintos tipos: relativo, absoluto y suficiente. Si es relativo, cuando aumenta la actividad económica sus impactos también, pero en menor grado. Si es absoluto, la actividad económica iría en la dirección contraria al crecimiento —las emisiones bajan y el PBI sube— (Conte Grand, 2015). Que el desacople además sea suficiente, como explican Hickel & Kallis (2019), depende tanto de su dimensión temporal y magnitud. Por ejemplo, cuando hablamos de crisis climática, el objetivo no es únicamente reducir las emisiones, sino evitar que las emisiones totales no superen los presupuestos de carbono. No alcanza con que la trayectoria de las emisiones sea distinta que la del PBI, hay que reducir las emisiones de forma suficiente para alcanzar nuestros objetivos.

En lo que respecta a las emisiones de carbono, existe evidencia de desacople absoluto y sostenido en el tiempo a nivel nacional, pero no global. El desacople a nivel global hoy es relativo e insuficiente para mantenernos dentro de los presupuestos de carbono del Acuerdo de París (Wiedmann et al., 2020). Algunos países ricos lograron trayectorias divergentes entre el PBI y la evolución de sus emisiones de GEI, esencialmente gracias a la eficiencia y la descarbonización de su matriz (Hubacek et al., 2021) pero, teniendo en cuenta el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, estas reducciones no alcanzan (Hickel, 2018; Anderson et al., 2020). De hecho, el IPCC (2022) afirma que la actual desvinculación no evita que se consuma el presupuesto restante de

Figura 4: Tipos de desacople



Elaboración propia

emisiones (Haberl et al., 2020). Según estimaciones, en consideración del principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, para mantenernos debajo de los 2°C, el ritmo de desacople de los países más ricos debería incrementarse aproximadamente siete veces (Hickel, 2018).

Por otra parte, si vemos la huella material, no hay evidencia de desacople absoluto y sostenido en el tiempo a nivel nacional ni global (Hickel & Kallis, 2019). Si se mira la economía mundial en su conjunto, el uso global de recursos no se ralentizó (Hickel, 2020). En promedio, con cada aumento del 10% del PIB las huellas materiales nacionales aumentan en un 6% (Wiedmann et al., 2013). En general, a medida que el nivel de riqueza aumenta, los países tienden a incrementar su uso material total de recursos y reducir la proporción doméstica de extracción de estos recursos, gracias al comercio internacional. Así, pueden reducir su "huella doméstica" mante-

niendo o elevando sus niveles de consumo, externalizando sus industrias intensivas en carbono al resto del mundo (Wiedmann et al., 2013).

Una última consideración a introducir en relación al desacople es que este puede ser parcial o total. La actividad económica genera impactos tanto en su fuente (extracción de algún recurso) como en el destino (generación de residuos, GEI, etc). Aquí surge la importancia de observar y atender al desempeño de más indicadores. Por ejemplo, podría haber un desacople absoluto entre las emisiones de carbono y el PIB, pero incrementarse de forma pronunciada la huella hídrica, la pérdida de biodiversidad, etc.

7.2 Sin la eficiencia no se puede, pero sólo con eficiencia no alcanza

Si hay algo que sabemos hacer bien los humanos es desarrollar tecnologías cada vez más eficientes. De hecho, es lo que venimos haciendo desde hace miles de años (Fernández Durán & González Reyes, 2014). Sin embargo, las mejoras de eficiencia bajo el sistema actual en vez de generar ahorros muchas veces tienden a habilitar incrementos en la productividad y mayor consumo. Producir más eficiente permite reducir costos, lo que se traduce en menores precios y más consumo. Esto es lo que se conoce como efecto rebote, o la “paradoja de Jevons” (Alcott, 2005). Podemos encontrar ejemplos tanto en los vehículos como en los electrodomésticos. Existiendo límites planetarios, el problema en síntesis es que, cuando un insumo generalizado se abarata, el mercado se agranda. Así, el resultado final de las ganancias de eficiencia termina siendo un incremento del consumo, por lo que en definitiva, el desarrollo tecnológico no reduce los impactos ambientales, sólo disminuye la intensidad de su aumento (Wiedmann et al., 2020).

La conclusión es que la innovación tecnológica y la eficiencia son condiciones necesarias para la descarbonización, pero no suficientes. En un sistema socioeconómico donde los incentivos de sus actores en todos los niveles se orientan a maximizar representaciones monetarias de beneficios, y donde esas representaciones monetarias están estrechamente vinculadas a la extracción de recursos y al uso de energía, el ahorro derivado de la mejora de eficiencia se tiende a re-invertir para ampliar el proceso de producción y consumo, lo que termina generando un aumento del tráfico global de átomos, bits y joules.

7.3 ¿Qué hay fuera de las reglas de juego de la cancha económica actual?

Cuando miramos cualquier proyección de PBI de largo plazo, solemos encontrarnos con cifras de crecimiento del 3% anual. Es algo casi estándar. **Siguiendo la regla del 70¹, algo que crece al 3% se duplica cada 24 años —de hecho, en el 2018 la economía global ya duplicaba a la del 1997, la cual a su vez duplicaba a la de 1973, y ésta a la de 1958 (Roser, 2013)—. Esto implicaría, de cara al 2050, un gran aumento —dependiendo del grado de desacople— del uso de energía, las huellas materiales y de la huella de carbono, presionando todavía más las funciones ecosistémicas vitales de nuestro planeta (Armstrong McKay et al., 2022).** Al mismo tiempo, la mayoría de ese crecimiento desde 1950 —y por lo tanto, sus impactos— se concentró en los países miembros de la OECD, mientras que la mayoría del incremento poblacional sucedió fuera de estos países, mostrando una dinámica inequitativa (Steffen et al., 2015).

¿Es realista suponer que el crecimiento económico de todos los países puede perpetuarse de forma sostenible en el tiempo? ¿Hasta cuándo lo sería? ¿Cuál es el techo, si es que lo hay? ¿Y el piso? ¿Podría ser de otra manera? Hay autores (Morosini, 2010; Haberl et al., 2020) que argumentan que el estándar de consumo de países ricos como Noruega o Estados Unidos puede enviar un mensaje peligroso hacia los países en desarrollo: muchos de ellos pueden sentir legítimo perseguir un incremento de su consumo

1. La regla del 70 es utilizada para aproximar rápidamente cuántos períodos le tomará a una economía —o cualquier cosa— duplicar su cantidad —en este caso, tamaño—, siendo esto el resultado de dividir 70 por la tasa de crecimiento del período.

hacia un horizonte que es ecológicamente inalcanzable por toda la población mundial.

Existen investigaciones que hicieron el ejercicio de analizar cuánta energía sería necesaria para alcanzar ciertos umbrales de satisfacción de necesidades para todo el mundo. **Una de ellas encontró que al combinar las mejores tecnologías disponibles en la actualidad con transformaciones radicales en la demanda, el consumo global de energía en 2050 podría ser igual al de 1960 y satisfacer las necesidades de todas las personas, incluso con una población tres veces más grande (Millward-Hopkins et al., 2020; Grubler et al., 2018).** Se encontraron resultados similares para países particulares como Brasil, India o Sudáfrica (Rao et al., 2019). Estos resultados no son alcanzables bajo los sistemas políticos y económicos actuales, pero sirven para reforzar la idea de que la energía como vector de bienestar colectivo depende de cuán eficaz sea la sociedad en transformar ese uso energético en servicios que generen beneficios a su población, y qué tan equitativamente sean distribuidos.

Al mismo tiempo, es pertinente recordar que el incremento en el consumo de energía después de cierto punto no se traduce necesariamente en mejoras de desarrollo humano (Smil, 2018). Esto también sucede en relación a la huella material, y el IPCC (2021) lo menciona en su último reporte: “más allá de un umbral, el aumento del consumo material no está estrechamente correlacionado con la mejora del progreso humano”.

En este marco, Parrique (2022) caracteriza la búsqueda del crecimiento económico en naciones que ya llegaron a cierto nivel de riqueza elevado como una estrategia de desarrollo equivocada que, incluso, puede ser contraproducente si lo que se sacrifica para aumentar la producción (tiempo libre, salud física y

mental, materiales escasos, un presupuesto de carbono limitado) es en realidad mucho más valioso para el bienestar que el aumento de ingresos que se obtienen por ellas. La gran dificultad de este terreno es que está atravesado por factores sumamente culturales y subjetivos. **Pensar la descarbonización también requiere preguntarnos sobre las expectativas de consumo que reproducimos, sobre qué valoramos y qué estamos dispuestos a sacrificar por ello.**



En un mundo desigual y con límites planetarios, los países en desarrollo necesitan espacio para que su consumo crezca con el objetivo de alcanzar un piso de satisfacción de necesidades. ¿Podría pensarse sumar a la búsqueda del incremento de la eficiencia, el de la suficiencia para algunas economías, o incluso para algunos sectores de ellas? ¿Podría pensarse una reducción de ciertos consumos para liberar presupuesto de carbono para las personas que más lo necesitan? ¿Qué barreras existen y qué condiciones habilitantes requieren este tipo de políticas? Frente a estas encrucijadas emergen las estrategias de post-crecimiento (Hickel et al., 2022), que en general involucran que los países que ya pasaron cierto umbral de riqueza establezcan sus economías, reduciendo la producción socialmente menos necesaria como, por ejemplo, la obsolescencia programada, al mismo

tiempo que se concentren en políticas sociales como de distribución de la riqueza existente. Aunque es difícil de imaginar la plausibilidad política de algunas de las propuestas de esta corriente, empieza a haber guías y pruebas piloto (Hopkins, 2019; Wellbeing Economy Alliance, 2021) de acciones concretas en esa dirección —impuestos a la publicidad, universalización de servicios de provisión, reducción de jornadas laborales²—.

En el camino hacia la descarbonización global, los desafíos que tenemos como humanidad son enormes. Creemos que estamos en tiempos de hacernos preguntas que orienten nuestras transiciones hacia las direcciones que realmente queremos. ¿Hacia dónde van las transiciones actuales? ¿Qué queremos lograr con ellas? ¿Son viables los modelos de desarrollo que tenemos en nuestra cabeza? ¿Cuáles son nuestros supuestos? ¿Qué expectativas de consumo reproducimos? ¿Son alcanzables por todas las personas? ¿Cómo podemos adaptarlas a los desafíos de este siglo, desde nuestras latitudes? ¿Podemos tomar al deterioro de los indicadores ambientales como una oportunidad para avanzar en transformaciones estructurales que garanticen mayor prosperidad a las personas y al planeta? No encontrar todas las respuestas no nos debe impedir avanzar, pero no podemos avanzar sin tener presentes estas preguntas.

2. En un comunicado de prensa publicado el 21 de septiembre del 2022, Day Week Global publica resultados parciales de un experimento en el que 73 empresas del Reino Unido implementan la semana laboral de 4 horas. Los resultados parciales, provistos por 41 de las empresas participantes, muestran que el 15% de ellas vieron un incremento significativo en su productividad, mientras que otro 34% vio leves mejoras y un 46% no vio cambios. 88% de ellas manifiestan que ven probable o altamente probable mantener el esquema de trabajo luego de la prueba (Lockhart, 2022).

Bibliografía

Alcott, B. (2005). Jevons' paradox.

Disponible en: <https://bit.ly/alcott2005>

Anderson, K., Broderick, J. F., & Stoddard, I. (2020). A factor of two: how the mitigation plans of 'climate progressive' nations fall far short of Paris-compliant pathways.

Disponible en: <https://bit.ly/ander2020>

Ansari, D. & Holz F. (2020). Between stranded assets and green transformation: Fossil-fuel-producing developing countries towards 2055.

Disponible en: <https://bit.ly/ansari2020>

Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Windelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. E., Rockström, J. & Lenton, T. M. (2022). Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points.

Disponible en: <https://bit.ly/armstrong2022>

Arroyo, J. I. (2020). Economista en deconstrucción II. El ejemplo no es Dinamarca.

Disponible en: <https://bit.ly/arroy2020>

Barrera, M. A., Sabbatella, I., & Serrani, E. (2022). Macroeconomic barriers to energy transition in peripheral countries: The case of Argentina.

Disponible en: <https://bit.ly/Barreraetal2022>

Bertinat, P. & Svampa, M. (2022). La transición energética en la Argentina: Una hoja de ruta para entender los proyectos en pugna y las falsas soluciones.

Disponible en: <https://bit.ly/berti2022>

Bloomberg NEF (2022). Energy Transition Investment Trends 2022.

Disponible en: <https://bit.ly/BGnet2022>

Brockway, P. E., Owen, A., Brand-Correa, L. I., & Hardt, L. (2019). Estimation of global final-stage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources.

Disponible en: <https://go.nature.com/3sGbzQM>

Capellán-Pérez, I., De Castro, C., & González, L. J. M. (2019). Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies.

Disponible en: <https://bit.ly/capel2019>

Chancel, L., Piketty, T., Saez, E., & Zucman, G. (2021). World inequality report 2022.

Disponible en: <https://bit.ly/chanceletal2021>

Climate Action Tracker (2022). Despite Glasgow Climate Pact 2030 climate target updates have stalled.

Disponible en: <https://bit.ly/climatetracker2022>

Čuček, L., Klemeš, J. J. & Kravanja, Z. (2015). Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability. Chapter 5 – Overview of environmental footprints.
Disponibile en: <https://bit.ly/cucek2015>

Delannoy, L., Longaretti, P. Y., Murphy, D. J., & Prados, E. (2021). Peak oil and the low-carbon energy transition: A net-energy perspective.
Disponibile en: <https://bit.ly/Delannoy2021>

Drucaroff, S., Farina, P. & Rivas, D. (2020). Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo en el marco de la transición energética argentina.
Disponibile en: <https://bit.ly/drucar2021>

EcoJournal (2021). Cómo afecta la sequía a la generación eléctrica.
Disponibile en: <https://bit.ly/sequia2021>

Enerdata (2022). Coal and lignite domestic consumption.
Disponibile en: <https://bit.ly/enerdata2021>

Energía Estratégica (2020). Córdoba prepara una normativa para incentivar proyectos de energías renovables a mediana escala.
Disponibile en: <https://bit.ly/EstEner2022>

Energía Estratégica (2022). Eólicos piden más participación y capacidad de transporte en la agenda energética nacional.
Disponibile en: <https://bit.ly/EstEner2022>

Fankhauser, S. & Jotzo, F. (2018). Economic growth and development with low-carbon energy.
Disponibile en: <https://bit.ly/fank2017>

Fernandez Durán, R & González Reyes, L. (2014). En la espiral de la energía. Volumen I. Historia de la humanidad desde el papel de la energía (pero no solo).
Disponibile en: <https://bit.ly/Fduran2014>

Fundación Bariloche (2021). Plan Nacional de Eficiencia Energética Argentina.
Disponibile en: <https://bit.ly/FBari2021>

Fundar (2022). La evolución del sector de hidrocarburos.
Disponibile en: <https://bit.ly/fundar2022>

Fundar (2021). Políticas de Desarrollo Productivo Verde para la Argentina.
Disponibile en: <https://bit.ly/fundar2021>

Gadano, J. (2021). El dilema del prisionero y el regreso del átomo.
Disponibile en: <https://bit.ly/gadn2021>

Ged, D. & Goldemberg, J. (2012). Global Energy Assessment. Toward a Sustainable Future.
Disponibile en: <https://bit.ly/gedG2012>

Giampietro, M. & Funtowicz, S. O. (2020). From elite folk science to the policy legend of the circular economy.

Disponibile en: <https://bit.ly/giamp2020>

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N. et al. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies.

Disponibile en: <https://go.nature.com/3SRhpt8>

Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Martinez-Alier, J. & Winiwarter, V. (2011). A socio-metabolic transition towards sustainability? Challenges for another Great Transformation.

Disponibile en: <https://bit.ly/haberl2011>

Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Gerald, K., Plank, B., Brockway, P., Fishman, T., Hausknost, D., Krausmann, F., Leon-Gruchalski, B. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights.

Disponibile en: <https://bit.ly/haberl2020>

Hagens, N. (2022). Joe Tainter: "Surplus, Complexity, and Simplification".

Disponibile en: <https://bit.ly/hagens2022>

Hall, C. A., Lambert, J. G., & Balogh, S. B. (2014). EROI of different fuels and the implications for society.

Disponibile en: <https://bit.ly/halletal2014>

Hallegatte, S., Heal, G., Fay, M. & Treguer, D. (2012). From Growth to Green Growth – a Framework.

Disponibile en: <https://bit.ly/hallegtt2012>

Hickel, J. & Kallis, G. (2019). Is green growth possible?.

Disponibile en: <https://bit.ly/hickel2019>

Hickel, J. (2018). Is it possible to achieve a good life for all within planetary boundaries?.

Disponibile en: <https://bit.ly/hickel2018>

Hickel, J. (2020). The Myth of America's Green Growth.

Disponibile en: <https://bit.ly/hickl2020>

Hickel, J., Brockway, P., Kallis, G. et al. (2021). Urgent need for post-growth climate mitigation scenarios.

Disponibile en: <https://go.nature.com/3gMmNAp>

Howarth, R. W. (2014). A bridge to nowhere: methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas.

Disponibile en: <https://bit.ly/howarth2014>

Hubacek, K., Chen, X., Feng, K., Wiedmann, T. & Shan, Y. (2021). Evidence of decoupling consumption-based CO₂ emissions from economic growth.

Disponibile en: <https://bit.ly/huba2021>

IAPG (2020). Práctica recomendada: Gestión de emisiones de metano en operaciones de

explotación y producción.

Disponible en: <https://bit.ly/IAPG2020>

IEA (2021a). Driving Down Methane Leaks from the Oil and Gas Industry.

Disponible en: <https://bit.ly/IEA2021a>

IEA (2021b). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.

Disponible en: <https://bit.ly/3WdkITH>

IEA (2022). Coal Market Update.

Disponible en: <https://bit.ly/3DI1Bof>

Inderscience Publishers (2008). Nuclear Power Not Efficient Enough To Replace Fossil Fuels, Study Finds.

Disponible en: <https://bit.ly/3SKL3Ao>

IPCC (2022). AR6 WG III. Chapter 6. Mitigation of Climate Change.

Disponible en: <https://bit.ly/3U5rq6Z>

IRENA (2019). Power system flexibility for the energy transition.

Disponible en: <https://bit.ly/3sDRV7M>

JP Morgan (2022). 2022 Annual Energy Paper.

Disponible en: <https://bit.ly/3U9I8TO>

Kern, Florian & Rogge, Karoline S (2016). The pace of governed energy transitions: agency, international dynamics and the global Paris agreement accelerating decarbonisation processes?

Disponible en: <https://bit.ly/3TNFwdC>

Ladislav, S. & Tsafos, N. (2020). Beijing is winning the clean energy race.

Disponible en: <https://bit.ly/3FtAZZC>

Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W. & Schellhuber, H. J. (2019). Climate tipping points — too risky to bet against.

Disponible en: <https://go.nature.com/3DHYGvT>

Lockhart, C. (2022). UK Companies in 4 Day week Pilot Reach Landmark Halfway Point.

Disponible en: <https://bit.ly/3TXozxO>

Michaux, S. P. (2021). The Mining of Minerals and the Limits to Growth.

Disponible en: <https://bit.ly/3DHbPoQ>

Millward-Hopkins, J, Steinberger, J. K., Rao, N. D. & Oswald, Y. (2020). Providing decent living with minimum energy: A global scenario.

Disponible en: <https://bit.ly/3DFevU4>

Millward-Hopkins, J. (2022). Inequality can double the energy required to secure universal decent living.

Disponible en: <https://go.nature.com/3gThb7F>

Morosini, M. (2010). A 200-Watt society in 2050: A realistic vision?.
Disponible en: <https://bit.ly/3TP1YCY>

Murphy, T. (2021). Energy and Human Ambitions on a Finite Planet.
Disponible en: <https://bit.ly/3DEYrBJ>

ONU (2022). Global impact of war in Ukraine: Energy crisis.
Disponible en: <https://bit.ly/3FoT7Un>

Oswald, Y., Owen, A. & Steinberger, J.K. (2020). Large inequality in international and intra-national energy footprints between income groups and across consumption categories.
Disponible en: <https://go.nature.com/3fhMYhW>

Our World in Data (2015). GDP per capita vs. energy use, 2015.
Disponible en: <https://bit.ly/3zpvSWi>

Our World in Data (2017). Global fossil fuel consumption.
Disponible en: <https://bit.ly/3fnaPNf>

Our World in Data (2020). Emissions by sector.
Disponible en: <https://bit.ly/3DCMbR9>

Parrique, T. (2021). Decoupling in the IPCC AR6 WGIII.
Disponible en: <https://bit.ly/3DjqXr7>

Quitrow, R. (2015). Dynamics of a policy-driven market: The co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany.
Disponible en: <https://bit.ly/3FoTKNJ>

Rao, N., Min, J. & Mastrucci, A. (2019). Energy requirements for decent living in India, Brazil and South Africa.
Disponible en: <https://go.nature.com/3Fo4JXG>

Ritchie, H., Roser, M. & Rosado, P. (2020). Energy.
Disponible en: <https://bit.ly/3SlrNmV>

Roger, D. (2019). Una nueva matriz energética para Argentina: rentas termodinámicas y desarrollo industrial, tecnológico y científico.
Disponible en: <https://bit.ly/3Dq5ZXQ>

Roser, M. (2013). Economic Growth.
Disponible en: <https://bit.ly/3Wa42qS>

Samandari, H., Pinner, D., Bowcott, H., White, O. (2022). The net-zero transition in the wake of the war in Ukraine: A detour, a derailment, or a different path?
Disponible en: <https://mck.co/3Ni1cfh>

Sers, M. R., & Victor, P. A. (2018). The energy-emissions trap.
Disponible en: <https://bit.ly/3gRNOxJ>

Smil, V. (2010). Energy myths and realities: bringing science to the energy policy debate.
Disponible en: <https://bit.ly/3U1DUwk>

Smil, V. (2016). Examining energy transitions: A dozen insights based on performance.
Disponible en: <https://bit.ly/3DfLyN7>

Smil, V. (2019). Distributed Generation and Megacities.
Disponible en: <https://bit.ly/3gWrMyo>

Smil, V. (2022). Fighting climate change: data, investment, innovation and bold decisions.
Disponible en: <https://bit.ly/3U41Xg>

Smil, V. (2022b). The Modern World Can't Exist Without These Four Ingredients. They All Require Fossil Fuels.
Disponible en: <https://bit.ly/3fjPNiH>

Sonter, L. J., Dade, M. C., Watson, J. E. M. & Valenta, R. K. (2020). Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity.
Disponible en: <https://go.nature.com/3Fr3SFz>

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L. M. & Gaffney, O. (2015). The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration,
Disponible en: <https://bit.ly/3gUBLEJ>

Turiel, A. (2022). The energy crisis in the world today: analysis of the World Energy Outlook 2021.
Disponible en: <https://bit.ly/3Nideph>

UK (2021). Global to clean power transition statement.
Disponible en: <https://bit.ly/3sDazwG>

UNEP (2019). Panorama de los Recursos Globales 2019: Recursos naturales para el futuro que queremos.
Disponible en: <https://bit.ly/3FmhcvO>

Van de Graaf, T. (2019). A new world: the geopolitics of the energy transformation.
Disponible en: <https://bit.ly/3U9Kz83>

Ward, J. D., Sutton, P. C., Werner, A. D., Costanza, R., Mohr, S. H. & Simmons, C. T. (2016). Is Decoupling GDP Growth from Environmental Impact Possible?
Disponible en: <https://bit.ly/3gLrRF7>

Wellbeing Economy Alliance (2021). How to design economic policies that put the wellbeing of people and the planet first.
Disponible en: <https://bit.ly/3WgOQKv>

Wiedmann, T., Lenzen, M., Keyßer, L. T. & Steinberger, J. K. (2020). Scientists' warning on affluence.
Disponible en: <https://go.nature.com/3DFIJau>

Wiedmann, T., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K. (2015). The material footprint of nations.

Disponibile en: <https://bit.ly/3gHxjc6>

World Energy Council (2019). World Energy Scenarios.

Disponibile en: <https://bit.ly/3DH7WQH>