

EL CAMINO HACIA EMISIONES CERO

Es posible lograr cero emisiones netas y limitar el calentamiento del planeta a 1,5 °C con políticas rápidas e integrales

Christoph Bertram, Ottmar Edenhofer y Gunnar Luderer

Los avances vertiginosos en tecnologías verdes fundamentales han aumentado las posibilidades de lograr una reducción de emisiones sin precedentes, lo cual es necesario para limitar el calentamiento global a 1,5 °C, como se prevé en el acuerdo de París sobre cambio climático. Pero se necesitará una reestructuración de los sistemas de uso de la tierra y de energía en el mundo, con la combinación adecuada de políticas de incentivo. Las autoridades pueden basar sus decisiones en un conjunto creciente de conocimientos y experiencia para alentar la utilización de tecnologías verdes y acelerar el desarrollo de otras más nuevas.

Lograr la meta de 1,5 °C no solo reduciría los riesgos asociados con el cambio climático, sino que traería aparejados muchos beneficios colaterales, desde una mejor calidad del aire y la modernización de la infraestructura y de las economías hasta

un aumento del empleo en el sector energético y puestos de trabajo con mejores perspectivas a largo plazo.

Descarbonización de la electricidad

Dado que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) permanecen en la atmósfera por cientos de años, las emisiones acumuladas de este gas de efecto invernadero son responsables del consiguiente calentamiento. Esto significa que la magnitud que tengan las reducciones de emisiones a corto plazo es más importante que el año exacto en que se llegue a cero. Para lograr el objetivo de 1,5 °C con mediana probabilidad, es preciso que las emisiones disminuyan inmediatamente. La opción de menor costo para alcanzar este objetivo consiste en reducir las emisiones a la mitad para 2030 respecto de los niveles de 2020.

La primera clave para este cometido es el sector de electricidad, que actualmente es responsable de aproximadamente una tercera parte de las emisiones totales de CO₂ (véase el gráfico). Si bien continúa el predominio del carbón y del gas en la generación de electricidad, la incorporación de nueva capacidad de energía solar y eólica supera ampliamente los beneficios de la capacidad basada en combustibles fósiles.

La pandemia ha demostrado que los sistemas de electricidad tienden a ser más limpios cuando la demanda es menor, pues las plantas eléctricas de mayor costo alimentadas a gas o a carbón se desconectan primero, en tanto las plantas de energía solar, eólica, nuclear y de hidrógeno continúan generando tanta electricidad como pueda absorber el mercado (Bertram *et al.*, 2021). Sin lugar a dudas, un uso más eficiente de la electricidad puede contribuir considerablemente a una disminución más rápida de las emisiones sin sacrificar la capacidad del sistema. Esto tendrá particular valor en la próxima década, durante la cual una gran proporción de la generación de electricidad seguirá proviniendo de combustibles fósiles con gran contenido de carbono.

Una mayor eficiencia del consumo de combustible líquido, sólido y gaseoso en la industria, el transporte y los edificios es aún más crucial, porque el aumento de eficiencia conlleva una reducción inmediata de las emisiones.

La disponibilidad limitada de tecnología energética limpia ha dejado de ser un impedimento para la descarbonización de la electricidad —también están mejorando las soluciones de integración—, pero sí lo es el cierre gradual de las capacidades basadas en combustibles fósiles. Es preciso regular las emisiones, idealmente mediante alguna forma de tarificación del carbono, para desplazar las nuevas inversiones hacia tecnología energética verde y crear incentivos para el cierre progresivo de centrales eléctricas. Si la comunidad mundial logra aprovechar la oportunidad que ofrece una rápida descarbonización del sistema de energía, el sector eléctrico podrá reducir drásticamente las emisiones en más de dos tercios para 2030, como se indica en el gráfico del escenario Cero Emisiones Netas para 2050.

¿Y qué hay del uso de la tierra y el objetivo de cero emisiones netas? El sector agrario actualmente incluye tanto sumideros de CO₂ (métodos que eliminan carbono de la atmósfera, como la plantación de nuevos bosques) como fuentes de CO₂, principalmente la deforestación, aunque también otros procesos de uso de la tierra. Los cambios en las prácticas de uso de la tierra podrían incluso hacer posible una huella neutral de CO₂ en el sector para 2030 (aunque el uso de la tierra —principalmente agrícola— continuará inevitablemente contribuyendo al calentamiento a través de las emisiones de metano y óxido nítrico).

De esta forma, en los escenarios que apuntan al objetivo de 1,5 °C, la industria, los edificios y el transporte, con su demanda de energía, son los principales contribuyentes a las emisiones de CO₂ provenientes de combustibles fósiles en 2030 y más allá. En estos escenarios, las emisiones combinadas de estos factores tendrían que reducirse a la mitad para 2040 y alcanzar alrededor de una cuarta parte de los niveles actuales para 2050 a fin de lograr la neutralidad de carbono para esa fecha.

La compensación incluso de este nivel comparativamente bajo de emisiones residuales requiere una expansión rápida y exigente de las opciones de eliminación de CO₂, como plantar nuevos bosques, la captura directa en el aire (capturar CO₂ de la atmósfera para su almacenamiento geológico) y la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS, por sus siglas en inglés), tecnologías que producen energía limpia a partir de biomasa mientras captan y almacenan CO₂ de forma permanente.

Hay opciones para lograr un sistema de energía mundial de emisiones cero, en el cual todo el carbono incorporado en la atmósfera se vea compensado con el carbono eliminado.

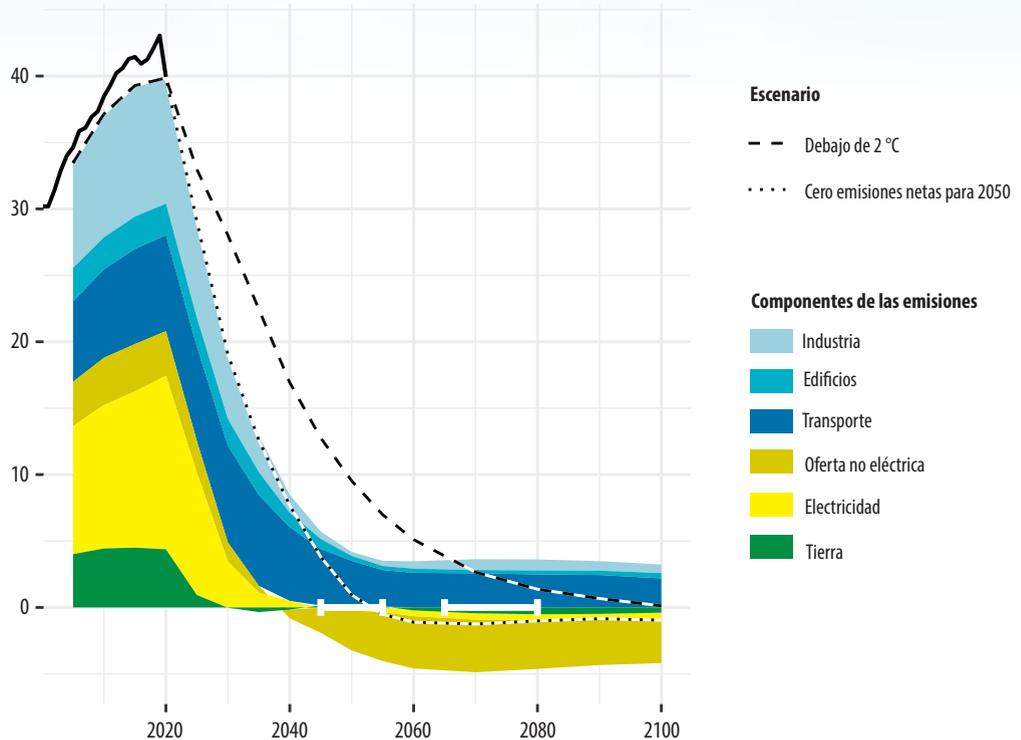
Muchas de las tecnologías necesarias para descarbonizar los sectores que demandan energía conllevan la electrificación directa o indirecta a través de combustibles basados en hidrógenos, tales como la tecnología de celdas de combustible alimentadas por hidrógeno y los combustibles sintéticos (Ueckerdt *et al.*, 2021). Más aún, estas tecnologías no se utilizan todavía a escala en los mercados y posiblemente enfrenten dificultades institucionales y ambientales. Sus resultados y costos futuros son, por lo tanto, mucho más inciertos que los de las tecnologías que se utilizan actualmente (por ejemplo, energía renovable y vehículos eléctricos a batería).

Esta incertidumbre implica que hay varias opciones para lograr un sistema de energía mundial de emisiones cero, en el cual todo el carbono incorporado en la atmósfera se vea compensado con el carbono eliminado. Si todas estas opciones tienen una evolución más favorable de lo esperado, también es posible (y vale la pena) alcanzar emisiones netas negativas más significativas (eliminar más carbono del que se incorpora), reduciendo así la temperatura media desde su máximo. Si algunas opciones de tecnología evolucionan más rápido de lo esperado, mientras otras

Llegar a cero

Varios sectores deben contribuir para reducir las emisiones de CO₂ a cero para 2050, en consonancia con el límite del calentamiento global a 1,5 °C, y unas décadas después a 2 °C para 2100.

(emisiones CO₂, GtCO₂/año)



Fuente: Estimaciones del autor, con base en datos del escenario formulado por la Red para Enverdecer el Sistema Financiero y datos históricos del Global Carbon Project.

Nota: La oferta no eléctrica incluye emisiones de la producción de combustibles, principalmente de refinerías. Las líneas blancas indican las fechas requeridas para alcanzar la neutralidad de carbono, según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático SR1.5 (2018). GtCO₂/año = gigatoneladas de dióxido de carbono por año.

quedan rezagadas, la combinación de opciones puede ser diferente de lo que se proyecta, pero el objetivo general de cero emisiones netas sigue siendo asequible. Solo si todas las opciones evolucionan más lentamente de lo esperado —o de no poderse superar obstáculos o cuellos de botella imprevistos (por ejemplo, problemas de sostenibilidad relacionados con la bioenergía)—, sería mucho más difícil de lo esperado lograr sistemas de energía con cero emisiones netas.

Transición ordenada

Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C, con probabilidad razonable, es necesario que la transformación sea integral y se logre rápidamente, pero este proceso puede ser relativamente ordenado si se lo lleva a cabo con la combinación adecuada de políticas de incentivo. De hecho, la transición debe ser justa e inclusiva y no dejar a nadie en el camino,

para continuar recibiendo el apoyo de las políticas. Las autoridades responsables deben, por tanto, implementar una combinación de políticas que se apoyen en las herramientas adecuadas.

Una herramienta central para esta transición puede ser la tarificación del carbono, ya sea mediante un mercado de permisos de emisiones como el Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión o un impuesto al carbono que aumente con el tiempo. Los escenarios de “Cero emisiones netas para 2050” de la Red para Enverdecer el Sistema Financiero (NGFS, 2021) estiman una tarificación del carbono de entre USD 100 y USD 200 la tonelada de CO₂ en 2030, la cual sube considerablemente hasta 2050. Sin embargo, los precios del carbono a largo plazo pueden mantenerse bajos si las políticas complementarias absorben parte de la carga de la descarbonización, como se observa, por ejemplo, en el escenario “Cero emisiones netas

Una opción promisorio para promover la cooperación entre países es el establecimiento de clubes del clima, con precios mínimos diferenciados del carbono.

para 2050” de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2021), donde las políticas regulatorias tienen un papel más prominente y los precios del carbono no superan los USD 250 hasta 2050. (El conjunto de escenarios de la NGFS, desarrollado junto con el grupo académico liderado por el Instituto Potsdam de Estudios sobre el Impacto Climático, incluye escenarios de alto riesgo adicionales, pero los escenarios de cero emisiones netas para 2050 son comparables con el de la AIE en la mayoría de los aspectos).

La principal ventaja de la tarificación del carbono es que puede cumplir una función coordinadora de tareas entre sectores (y entre países en el futuro) para garantizar que los esfuerzos sean equilibrados. Más aún, aporta una certeza regulatoria fundamental, incentiva una inversión adecuada a largo plazo y capta recursos que los gobiernos pueden usar para políticas adicionales que necesitan financiamiento público.

Un componente importante de esta herramienta debe prever cierto reciclaje de ingresos hacia los ciudadanos, de modo de garantizar que nadie quede excluido de la transición. Si bien una tarificación uniforme del carbono tiene efectos regresivos en muchos países, la redistribución responsable del ingreso la convierte en una política progresiva que puede fomentar cohesión social y apoyo político. Los ingresos también pueden destinarse a apoyar proyectos de infraestructura con visión de futuro, tales como estaciones de carga para vehículos eléctricos. Estos proyectos son fundamentales para promover mercados incipientes para nuevos participantes tecnológicos que no prosperan debido a la dependencia de infraestructuras obsoletas y efectos tecnológicos secundarios.

Cooperación internacional fundamental

Algunos países están avanzando en la implementación de un programa para alcanzar cero emisiones netas para mediados del siglo, pero el panorama mundial sigue siendo poco alentador. Para superar los obstáculos subyacentes a una acción colectiva —como los problemas de distribución— la cooperación internacional debe cambiar el rumbo para permitir que todos los países puedan recuperarse de la pandemia por un camino similar.

El Sur y el Norte tienen responsabilidades diferentes en este sentido. Una conclusión fundamental de nuestro análisis de escenarios de 1,5 °C (NGFS, 2021) es que este objetivo no prevé una descarbonización con calendarios muy variados (Bauer *et al.*, 2020). Todos

los grandes países en proceso de transición deben alcanzar el máximo de emisiones pronto para luego comenzar a reducirlas, y los descubrimientos recientes en el sector energético lo hacen posible desde el punto de vista tecnológico. Los países de altos ingresos, a su vez, deberían ser conscientes de que les deben dar más apoyo a otros países durante esta transición, sobre todo por la responsabilidad histórica que les compete en materia de cambio climático. Un acceso más fácil a la tecnología y al financiamiento podrían ayudar, como así también una mayor inversión directa.

Una opción promisorio para promover la cooperación entre países es el establecimiento de clubes del clima, con precios mínimos diferenciados del carbono. Los países de ingresos bajos y medios comenzarían con precios mínimos más bajos y se beneficiarían de parte de los ingresos generados por una tarificación más alta en los países de más alto ingreso. Los países más ricos, a su vez, se beneficiarían de la garantía de que la manufactura, el comercio y las emisiones no se desplazarían hacia mercados desregulados, causándoles un perjuicio. Esto garantizaría que sus acciones de mitigación fueran eficaces y que tuvieran condiciones de negociación justas. Si bien implementar un programa como ese es, sin duda, un desafío para los sistemas políticos en ambos grupos de países, los beneficios —economías prósperas y modernizadas, y sociedades más sanas y resilientes— valen la pena. [FD](#)

CHRISTOPH BERTRAM es líder de equipo de política climática internacional y **OTTMAR EDENHOFER** es director y economista principal del Instituto Potsdam de Estudios sobre el Impacto Climático. **GUNNAR LUDERER** es jefe del Departamento de Estudios de Vías de Transformación en dicho Instituto.

Stephen Bi, Jérôme Hilaire y Elmar Kriegler también contribuyeron a la investigación de la que se nutre este artículo.

Referencias:

- Agencia Internacional de la Energía (AIE). 2021. “Net Zero by 2050—A Roadmap for the Global Energy Sector”. París.
- Bauer, Nico, Christoph Bertram, Anselm Schultes, David Klein, Gunnar Luderer, Elmar Kriegler, Alexander Popp y Ottmar Edenhofer. 2020. “Quantification of an Efficiency—Sovereignty Trade-off in Climate Policy”. *Nature* 588 (7837): 261–66.
- Bertram, Christoph, Gunnar Luderer, Felix Creutzig, Nico Bauer, Falko Ueckerdt, Aman Malik y Ottmar Edenhofer. 2021. “COVID-19-Induced Low Power Demand and Market Forces Starkly Reduce CO₂ Emissions”. *Nature Climate Change* 11 (3): 193–96.
- Network for Greening the Financial System (NGFS). 2021. Portal de escenarios. París.
- Ueckerdt, Falko, Christian Bauer, Alois Dimachner, Jordan Everall, Romain Sacchi y Gunnar Luderer. 2021. “Potential and Risks of Hydrogen-Based e-Fuels in Climate Change Mitigation”. *Nature Climate Change* 11 (5): 384–93.