



HAL
open science

Prosperidad libre de carbono Cómo los gobiernos pueden habilitar 15 transformaciones esenciales

Andreas Fazekas, Christopher Bataille, Adrien Vogt-Schilb

► **To cite this version:**

Andreas Fazekas, Christopher Bataille, Adrien Vogt-Schilb (Dir.). Prosperidad libre de carbono Cómo los gobiernos pueden habilitar 15 transformaciones esenciales. 2022. halshs-03742126

HAL Id: halshs-03742126

<https://shs.hal.science/halshs-03742126v1>

Submitted on 2 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Prosperidad libre de carbono

Cómo los gobiernos pueden habilitar
15 transformaciones esenciales

Andreas Fazekas
Chris Bataille
Adrien Vogt-Schilb

IDDRI



**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Fazekas, Andreas.

Prosperidad libre de carbono: cómo los gobiernos pueden habilitar 15 transformaciones esenciales /
Andreas Fazekas, Chris Bataille, Adrien Vogt-Schilb.
p. cm. — (Monografía del BID; 1020)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Carbon dioxide mitigation-Latin America. 2. Carbon dioxide mitigation-Caribbean Area. 3. Greenhouse gas mitigation-Latin America. 4. Greenhouse gas mitigation-Caribbean Area. 5. Climate change mitigation-Latin America. 6. Climate change mitigation-Caribbean Area. 7. Climatic changes-Government policy-Latin America. 8. Climatic changes-Government policy-Caribbean Area. I. Bataille, Christopher. II. Vogt-Schilb, Adrien. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático. IV. Serie. IDB-MG-1020

Palabras clave: Mitigación del cambio climático, descarbonización, neutralidad en carbono, implementación, reforma política, inversión, política sectorial

Códigos JEL: Q54, Q18, Q28, Q38, Q48, Q58, R48, O13, O19

Copyright ©2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual (CC-IGO 3.0 BY-NC-SA) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode>) y puede reproducirse para cualquier fin no comercial, sea como obra original o como cualquier obra derivada, siempre que se le otorgue el reconocimiento respectivo al BID y que las obras derivadas estén sujetas a una licencia que prevea los mismos términos y condiciones que la licencia aplicable a la obra original.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Tabla de Contenidos

Prefacio	4
Agradecimientos	8
Resumen ejecutivo	9
Electricidad	14
Transformación 1: Acelerar la generación de electricidad variable y flexible libre de carbono a través de fuentes como la energía solar, eólica, geotérmica e hidroeléctrica	15
Transformación 2: Eliminación gradual de toda la generación de electricidad con combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el diésel	20
Transporte	24
Transformación 3: Reducir el transporte motorizado individual y aumentar el transporte público, caminar e ir en bicicleta	25
Transformación 4: Reemplazar los vehículos de pasajeros de diésel y gasolina por vehículos eléctricos y de cero emisiones	31
Transformación 5: Cambiar el transporte de mercancías por el ferrocarril, el agua y las tecnologías de bajas o cero emisiones	35
Agricultura, silvicultura y uso de la tierra	40
Transformación 6: Modernizar las prácticas agrícolas para reducir las emisiones de metano y óxido nitroso	42
Transformación 7: Perseguir la conservación de los bosques y otros ecosistemas con alto contenido de carbono y la restauración de las tierras de cultivo	45
Transformación 8: Adoptar dietas saludables que reducen la huella de carbono de los alimentos	49
Edificios	54
Transformación 9: Conseguir la mayor eficiencia energética posible para la estructura de edificios y aparatos	55
Transformación 10: Electrificar los aparatos de los edificios	59
Transformación 11: Desplegar la generación de electricidad solar y agua caliente en los edificios	62
Industria	66
Transformación 12: Electrificar la industria de generación de calor bajo	67
Transformación 13: Reemplazar todos los combustibles y materias primas de la industria pesada y de altas temperaturas con alternativas de bajas emisiones	70
Residuos	74
Transformación 14: Trabajar hacia una economía circular	75
Transformación 15: Reducir la pérdida y desperdicio de alimentos e implementar una gestión activa del metano para la eliminación de la materia orgánica	79
Conclusión	82
Referencias	84

Prefacio

La crisis climática está pasando frente a nuestros ojos. Los efectos comenzaron a materializarse en las últimas décadas y ahora afectan a algunas de las comunidades más vulnerables de América Latina y el Caribe. En 2020, las temperaturas promedio superaron el récord histórico en 4,2 °C en Florianópolis, Brasil; 2,4 °C en Ciudad Juárez, México; o 4,9 °C en Santa Rosa, Ecuador. Durante el mismo año, Brasil, Paraguay y Bolivia enfrentaron la peor sequía en medio siglo y se registraron treinta tormentas tropicales en la cuenca del Atlántico – otro récord histórico. Para 2030, se espera que los impactos socioeconómicos del cambio climático sean iguales o peores que la devastación que causó la Covid-19 en 2020, que provocó un aumento en la pobreza extrema de 5 millones de personas en la región, llevándola a 86 millones.

La buena noticia es que los países de América Latina y el Caribe están actuando. Once países se comprometieron a lograr cero emisiones netas, la mayoría de ellas para mediados de siglo. Muchas están de acuerdo en que la acción climática puede estar en su interés. Si se hace bien, la transición a una economía carbono neutral puede beneficiar a la región con 15 millones de empleos nuevos netos y un 1 % de crecimiento adicional del PIB para 2030, incluso después de considerar los costos. Por esas razones la acción climática es uno de los pilares de la Visión 2025, la hoja de ruta del Grupo BID para alcanzar un crecimiento inclusivo y sostenible.

Sin embargo, cumplir con los objetivos del Acuerdo de París es una tarea monumental. Para América Latina y el Caribe, esto supone

redirigir entre el 7 % y el 19 % del PIB –hasta US\$1,3 billones– del gasto público y privado al año hacia soluciones climáticas. El financiamiento internacional será fundamental, pero siempre será insuficiente. La transformación de nuestras economías solo es posible si todas las partes interesadas entienden qué necesita cambiar durante la transición a cero emisiones netas, por qué puede ser de su interés y cómo tomar medidas para que suceda.

Para ayudar en este esfuerzo, este informe aclara lo que significa financiar la transición hacia la carbono-neutralidad. Ofrece una serie de opciones para que los gobiernos consideren e inicien la transición hacia un futuro próspero sin emisiones de carbono. Demuestra cómo 15 transformaciones que se basan en tecnologías existentes pueden ayudar a lograr reducciones significativas de emisiones en la electricidad, el transporte, la agricultura, el uso de la tierra, la construcción, la industria y la gestión de residuos.

Este informe presenta evidencia del tipo de beneficios sociales y económicos que los países de la región pueden esperar como resultado de las reformas. Por ejemplo, reducir el uso de combustibles fósiles conlleva a ciudades y comunidades más limpias, lo que beneficia la salud pública. El transporte público puede ahorrar miles de millones de dólares en tiempo que actualmente se pierde por la congestión vial. La energía renovable, que es la forma de electricidad menos costosa del mundo, puede ofrecer precios más bajos y estables para los hogares y las empresas. La conservación de bosques y manglares genera servicios ecosistémicos. Finalmente, la economía circular puede mejorar la competitividad.

Sin embargo, el cambio no se producirá por sí solo. El documento enumera docenas de

barreras que impiden que entidades públicas y privadas inviertan en la transición a una economía neutra en carbono. Entre ellas, las regulaciones a menudo favorecen las tecnologías del pasado. Es posible que falte infraestructura esencial. Conseguir el financiamiento es difícil. Actores clave pueden carecer de información o capacidad de acción. En todo cambio habrá ganadores y perdedores. Los gobiernos que quieran facilitar el financiamiento público y privado de la acción climática pueden mapear estas barreras y planear en consecuencia cambios regulatorios, despliegue de infraestructura, reformas fiscales, desarrollo de capacidades, campañas de información y medidas para compensar los impactos distributivos y garantizar una transición justa.

El propósito de esta publicación no es pretender que la descarbonización es fácil, o llamar a que los países implementen de inmediato todas las acciones gubernamentales mencionadas. Por el contrario: un hallazgo importante es que la transición a economías de cero emisiones netas es compleja y difícil, que no puede ser resuelta por un pequeño grupo de agencias gubernamentales o con solo uno o dos instrumentos de política. En vez de eso, requeriría movilizar todo el gobierno, y darle un papel que desempeñar a varios ministerios y todos los niveles del gobierno, incluidos los estados y ciudades.

Los países que quieran descarbonizar deberán hacerlo en sus propios términos, a partir de un diagnóstico de los desafíos que enfrentan, sus prioridades de desarrollo y qué espacio fiscal, capacidad y capital político pueden movilizar para impulsar el cambio. En este sentido, las 15 transformaciones que proponemos no son más que una lista de opciones que los gobiernos pueden considerar.

No habrá una solución única para todos. El Acuerdo de París, ratificado por todos los miembros del BID, establece la necesidad de fundamentar la acción climática en el principio de responsabilidades compartidas pero diferenciadas y capacidades respectivas. Cada país debe desarrollar su propio plan de acción para lograr una transición justa y ordenada hacia una economía descarbonizada que beneficie a sus empresas, hogares y comunidades.

Esperamos que cuenten con el BID como un socio cercano a los países de América Latina y el Caribe que se embarcan en este proceso. Tenemos como objetivo proporcionar 24 000 millones de dólares en financiación climática durante los próximos cuatro años, y en el 2021 aprobamos casi 4500 millones de dólares para operaciones relacionadas con el clima, la cantidad más alta en nuestra historia. Desde el BID continuaremos invirtiendo, apoyando y poniendo al servicio todo nuestro conocimiento para esta tarea tan vital, como lo hemos hecho anteriormente. Con esta publicación, presentamos otro paso importante para alcanzar este objetivo común.

Benigno López Benítez

Vicepresidente de Sectores y Conocimiento
Banco Interamericano de Desarrollo

Todos los países se enfrentan a las tres crisis estructurales del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación devastadora, que afectan la vida de las personas y las perspectivas económicas. Hoy también nos enfrentamos a la pandemia y la guerra en Ucrania. Los países en desarrollo son los más afectados, ya que a menudo carecen de los recursos para financiar la recuperación. Los acuerdos y arreglos cooperativos transfronterizos son, por lo tanto, fundamentales para seguir invirtiendo en el desarrollo sostenible.

En paralelo, estamos presenciando cambios tectónicos en las narrativas globales: la desglobalización se discute ahora en los círculos de Davos y, la economía sin carbono o la economía regenerativa se están convirtiendo en las nuevas aspiraciones para la modernización. Algunas tendencias no están controladas, como la digitalización y la robotización. Otras pueden ser intencionales, como la transición a una economía baja en carbono, que es inevitable dada la rápida caída en el costo de las energías renovables.

En todos estos cambios es donde, en nuestra opinión, se encuentra la oportunidad. ¿Cómo podemos anticipar las tendencias futuras para capturar valor, empleos y poder de decisión en nuestros países? En un mundo en que muchos países están ansiosos por reclamar su soberanía nacional para garantizar la seguridad del suministro de energía y bienes estratégicos, el enfoque de abajo hacia arriba, específico por país, del Acuerdo de París y de la Agenda 2030 sigue siendo una base sólida sobre la cuál construir la acción nacional y la cooperación global.

América Latina y el Caribe, donde históricamente las sendas de desarrollo han dependido de los patrones de la globalización, están en primera línea. La transformación hacia una economía

neutral en carbono y positiva para la neutralidad en carbono y positiva para la biodiversidad puede ser una forma de adoptar el cambio. La región puede desempeñar un papel activo en la transformación a nivel nacional y contribuir a establecer las normas y estándares para la economía global del futuro.

Hay poco tiempo para garantizar que podamos detener los peores impactos del cambio climático. La reciente conferencia Estocolmo+50 mostró que solo se ha logrado una décima parte de los cientos de objetivos globales acordados desde 1972. Por ello, los países deben fortalecer su capacidad institucional para anticipar el cambio, gestionarlo y coordinar a los actores públicos y privados. Es imperativo que los políticos y la política sirvan una agenda de acción. Es un momento para enmarcar diálogos y análisis sobre el “cómo”, y hacerlo con actores en el terreno.

La ciencia debe desempeñar un papel central en la toma de decisiones. Sabemos que se necesita neutralidad en carbono entre 2050 (para 1,5 °C) y 2075 (para 2 °C) y que también se deben frenar otros gases. Las reducciones de emisiones a esta escala requieren transformaciones rápidas, mucho más allá de lo observado en el pasado, en todos los componentes del sistema económico, abarcando la energía, las formas urbanas, la infraestructura, la industria, los desechos, la tierra y los ecosistemas. Tales transformaciones drásticas requieren, a su vez, cambios profundos en las tecnologías, pero también en las condiciones sociales, económicas, institucionales y políticas. La ciencia muestra que alcanzar los objetivos climáticos puede ser compatible con objetivos de desarrollo sostenible más amplios si la acción se implementa sin demora, está guiada por una visión estratégica de transformaciones y está habilitada por paquetes de políticas nacionales y cooperación internacional adecuada.

Esta publicación tiene como objetivo acercar la ciencia a los formuladores de políticas ocupados con el "cómo" adaptarse a un mundo sin emisiones. Esperamos que los países dispuestos a explorar caminos nacionales para investigar cómo pueden ocurrir en su país las transiciones rápidas y de gran alcance requeridas a nivel mundial, encontrarán, en este informe, orientación para traducir esos caminos en políticas concretas.

Nuestra contribución a esta publicación ha sido movilizar el cuerpo de conocimiento que surge de nuestra comunidad de expertos internacionales y nacionales, la red Deep Decarbonization Pathways (DDP), que ha estado trabajando con tomadores de decisiones en más de 30 países, especialmente en el Sur Global. Nuestro trabajo ha demostrado la relevancia de las exploraciones tecno-económicas de sendas de desarrollo, empezando desde los objetivos socio-económicos y de emisiones de mediados de siglo para derivar las decisiones de inversión a corto plazo.

En base a estas evaluaciones científicas, los expertos de DDP han estado aconsejando a sus gobiernos que presten atención al riesgo de lock-in del carbono y que se aseguren de que las decisiones urgentes para la recuperación económica o las reacciones a las crisis de los precios de la energía no conduzcan a invertir en activos que quedarían varados en una o dos décadas, una vez que la economía sin emisiones de carbono se haya convertido en la nueva normalidad. También realizan investigaciones en profundidad sobre las palancas, oportunidades y desafíos asociados con la descarbonización de sectores complejos, como el transporte, la industria o la agricultura y el uso de la tierra, que tienden a estar mal representados en los planes existentes.

Una de las lecciones más importantes es la importancia de la participación de las partes interesadas. La construcción conjunta de escenarios y paquetes de políticas para habilitarlos es un medio esencial para que estas evaluaciones científicas sirvan la agenda de acción. Sólo un debate político profundo a nivel nacional y sub-nacional puede garantizar que las sendas de transformación sean una sólida fuente de inspiración para todos los actores. Una estrategia ampliamente aceptada es la única garantía, para inversores, de incentivos estables en el tiempo.

El trabajo de la red DDP ha demostrado que las transiciones nacionales pueden iniciarse utilizando tecnologías existentes a un costo financiero bajo y, a menudo, neto negativo. Por lo general, estas transformaciones tienen grandes beneficios económicos netos cuando se toman en cuenta los costos y beneficios económicos y ambientales externos. Sin embargo, la implementación requiere claridad sobre las opciones políticas, los instrumentos y acciones concretas, especialmente en relación con aquéllos quién puedan perder con el cambio, las medidas a adoptar para financiar los costos socio-económicos de la transición y las oportunidades para la cooperación internacional.

IDDRi continuará apoyando a los gobiernos en el desarrollo de estrategias climáticas efectivas y aceptables. Agradecemos a socios estratégicos como el BID que confía en los enfoques científicos e impulsados por los países, y esperamos que esta publicación sea un soporte efectivo para los gobiernos comprometidos.

Sebastien Treyer

Director Ejecutivo

Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRi)

Agradecimientos

Este informe fue redactado por Andreas Fazekas, oficial profesional asociado, Sector de Cambio Climático y Desarrollo Sostenible del BID; Chris Bataille, investigador asociado, IDDRI; y Adrien Vogt-Schilb, economista sénior, Sector de Cambio Climático y Desarrollo Sostenible del BID.

Agradecemos a numerosos compañeros del BID por sus comentarios constructivos y sugerencias en varias etapas del proyecto, entre los que se encuentran Maria Julia Bocco, Christiaan Gischler Blanco, Sergio Campos, Ophélie Chevalier, Maryam Esmaeili, Natalia Espinola López, Tatiana Gallego, Marcelino Madrigal Martínez, Pedro Martel, Sebastian Miller Astete, Ernesto Monter, Raúl Muñoz Castillo, Juan Manuel Murguía Baysse, Alejandra París, Nestor Roa, Juan Roberto Paredes, Juan Alfredo Rihm Silva, Manuel Rodríguez Porcel, Thomas Serebrisky, Andreas Smith Jorgensen, German Sturzenegger, Maria Camila Uribe, Luis Felipe Vera Benítez y Graham Watkins.

Agradecemos las ideas y sugerencias proporcionadas por Claudio Alatorre, Dali Slim y Benoit Mauduit (AFD - Agence Française de Développement); José Javier Gomez y Santiago Lorenzo (CEPAL); Yann Briand, Marta Torres Gunfaus, Johannes Svensson y Henri Waisman (IDDRI); Chao He, Anna Ivanova y Diane Christin Kostroch (FMI); Nathalie Girouard, Martin Grimeland y Mariana Mirabile (OCDE); Stéphane Hallegatte (Grupo del Banco Mundial); y Richard Baron y Marcela Jaramillo (2050 Pathways).

Todas las decisiones editoriales y los errores restantes corresponden a los autores.

Diseño gráfico de Sahadia Yusari, editado por Philip Whiteman.

Esta investigación fue financiada por el Fondo Francés para el Clima del Banco Interamericano de Desarrollo (RG-T3575).

Resumen ejecutivo

El Acuerdo de París establece los objetivos de mantener el calentamiento global muy por debajo de 2 °C y lo más cerca posible de 1,5 °C, en comparación con los niveles preindustriales; buscar que todas las economías sean resilientes a los impactos climáticos, y garantizar que los flujos financieros sean consistentes con estos objetivos (CMNUCC, 2015). La tarea es titánica, ya que las transformaciones necesarias requerirán redirigir entre el 7 y el 19 % del PIB cada año (Galindo Paliza et al., 2022). Para alcanzar las metas de temperatura globales, el acuerdo y las decisiones subsecuentes de sus Partes otorgan una importancia fundamental a estrategias de reducción de emisiones, decididas por y para cada uno de los países en forma de contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) o estrategias de desarrollo a largo plazo con bajas emisiones (conocidas como LEDES, LT-LEDES o LTS, por sus siglas en inglés). En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021 en Glasgow, las partes reconocieron la necesidad de descarbonizar la economía mundial para 2050 si es posible, y para principios de la segunda mitad del siglo XXI para los 49 países clasificados como menos adelantados (Naciones Unidas, 2021). Como respuesta a este marco y a un mandato cada vez más claro de las corporaciones y del público, más de 50 países han promulgado objetivos para alcanzar emisiones de CO₂ o de gases de efecto invernadero (CEI) netas iguales a cero, y otros 140 más han anunciado o están considerando objetivos similares (Net Zero Tracker, 2022).

Alcanzar emisiones netas iguales a cero requerirá la acción de empresas, hogares y agencias gubernamentales de diferentes sectores de la economía. Los tres GEI más relevantes son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) (IPCC, 2021). A escala global, las emisiones directas de GEI provienen de la industria (26 %), de la producción de electricidad y calor (24 %), de la agricultura, la silvicultura y los cambios en el uso de la tierra (21 %) —en los que la agricultura representa, aproximadamente, la mitad de las emisiones del sector, y la silvicultura y los cambios en el uso de la tierra representan la otra mitad—, del transporte (14 %), de otras energías (10 %) y de los edificios (6 %) (Lamb et al., 2021). En América Latina y el Caribe, los sectores con más emisiones en 2018 fueron la agricultura, la silvicultura y los cambios de uso de la tierra (44 %), seguidos del transporte (15 %), la electricidad (13 %), la manufactura y la industria (10 %), los residuos (6 %) y los edificios (3 %), mientras que el resto (9 %) se relacionó con emisiones fugitivas y otros procesos de quema de combustibles (WRI, 2021).

En este documento, buscamos la literatura académica y los informes de agencias gubernamentales internacionales y grupos de expertos para proporcionar una lista de algunas de las transformaciones más importantes que son necesarias para alcanzar emisiones netas iguales a cero, así como los beneficios asociados con ellas, las barreras que dificultan o impiden su implementación, y un conjunto de políticas que los Gobiernos pueden utilizar para eliminar dichas barreras en cada uno de los sectores, lo que habilitará la transición hacia una economía neutra en carbono. Identificamos 15 transformaciones en energía, transporte, agricultura, silvicultura y uso

de la tierra, edificios, industria y gestión de residuos que, en conjunto, permitirían a los países eliminar la mayoría de las emisiones de GEI. A continuación, mostramos que estas transformaciones pueden comportar beneficios socioeconómicos, pero que se ven obstaculizadas por muchas barreras que impiden su adopción. Finalmente, proporcionamos ejemplos de intervenciones gubernamentales a escala sectorial que se han utilizado para permitir dichas transformaciones.

Llegar a cero emisiones netas es *técnicamente factible* (IPCC, 2022); esto significa que analistas de todo el mundo han identificado tecnologías existentes y cambios de comportamiento que, si se habilitan con intervenciones gubernamentales adecuadas, pueden lograr una economía neutra en carbono. La transición puede hacerse con una acción paralela e inmediata en todos los sectores, principalmente para reemplazar las centrales eléctricas de combustibles fósiles por renovables; electrificar el transporte, los edificios y otros usos a la energía tanto como sea posible; reemplazar los automóviles individuales por transporte público, actividades como andar en bicicleta y caminar; mejorar las prácticas agrícolas; detener la deforestación, preservar y expandir los bosques y otros ecosistemas con alto contenido de carbono (como las turberas). Asimismo, se requerirá moderar el consumo de carne para reducir la proporción de tierra utilizada para la producción de alimentos; mejorar la eficiencia energética y de materiales, transformar la producción industrial reemplazando principalmente los combustibles fósiles con electricidad baja en carbono, hidrógeno y combustibles sintéticos; y mejorar la gestión de residuos mediante la reducción de desechos, el reciclaje y la introducción de principios de economía circular (Fay et al., 2015; Waisman et al., 2019; Bataille et al., 2020; DDPLAC, 2020; BID y DDPLAC, 2019; IPCC, 2022).

Llegar a cero emisiones netas puede traer beneficios económicos y sociales. Las transformaciones enumeradas anteriormente pueden tener beneficios locales, como costes de energía más bajos debido al precio récord de la energía renovable, ahorros operativos debido a la electromovilidad, beneficios para la salud al evitar la contaminación del aire, la reducción del tiempo perdido en la congestión del tráfico, mejoras de salud gracias al incremento del ejercicio físico, la reducción de accidentes, y las dietas más saludables, mejor productividad industrial y agrícola, y servicios ecosistémicos, incluidos la preservación de la biodiversidad, el suministro de agua dulce y la atracción del turismo. Alcanzar las emisiones netas iguales a cero para 2050 puede traer beneficios netos por valor de 41 mil millones de dólares en Costa Rica, 140 mil millones de dólares en Perú y 7 mil millones de dólares en Chile (Groves et al., 2020; Quirós-Tortos et al., 2021, Benavides et al., 2021). En América Latina y el Caribe, los beneficios netos pueden aumentar el PIB en un 1 % para 2030 (Vogt-Schilb, 2021). Se pueden crear millones de nuevos puestos de trabajo durante la transición si los gobiernos alinean las estrategias sectoriales, las regulaciones laborales y las políticas educativas con los objetivos de cambio climático (OIT, 2018; Saget et al., 2020). Estos beneficios locales se suman al principal beneficio global de la transición a cero emisiones netas, que proporciona la motivación inicial para su emprendimiento: evitar un peor daño climático y sus impactos socioeconómicos (Banco Mundial et al., 2016; IPCC, 2022).

Son muchas las barreras que impiden la adopción de soluciones hacia las emisiones netas iguales a cero. Estas incluyen impedimentos relacionados con la infraestructura, las normativas, las finanzas públicas y privadas, el acceso y la capacidad de acción sobre la información y los problemas de economía política, entre otros (BID y DDPLAC, 2019). Por ejemplo, la ausencia de aceras, carriles exclusivos y semáforos puede hacer que caminar y andar en bicicleta resulte menos cómodo y más peligroso que el transporte privado en automóvil. El diseño de los mercados y los esquemas tarifarios, que a menudo están vinculados a políticas de subsidios ineficientes, pueden desincentivar el uso de energías renovables o autobuses eléctricos, a pesar de los menores costes de vida que su uso representa. Los subsidios a la energía pueden incentivar el uso de combustibles fósiles en lugar de energías renovables, y los costes iniciales de aislar edificios y cambiar a estufas eléctricas, calentadores de agua eléctricos y bombas de calor eficientes representan un obstáculo importante para la mayoría de los hogares. Los agricultores pueden carecer de capacidad para monitorear o mejorar su uso de fertilizantes sintéticos. Además, los hogares tienen acceso a información parcial sobre el contenido de carbono y los beneficios para la salud que les ofrecen diferentes dietas. La eliminación gradual de las centrales eléctricas de carbón, petróleo y gas puede verse obstaculizada por los impactos negativos que acarrearía para los trabajadores y las comunidades que dependen de ellas, a pesar de los impactos socioeconómicos netos positivos para la sociedad en general. Tales barreras impiden que la transición hacia las emisiones netas iguales a cero ocurra rápidamente, a pesar del respaldo científico y la existencia de mandatos políticos a favor de tomar acciones climáticas.

Por lo tanto, se necesitarán decenas de intervenciones gubernamentales para eliminar las barreras que impiden que los sectores público y privado inviertan en soluciones con emisiones netas iguales a cero. Esas incluyen acciones para construir la infraestructura necesaria, reformar las normativas, obtener precios justos o proporcionar subsidios específicos, desarrollar capacidades, suministrar información y compensar los impactos distributivos. Por ejemplo, los Gobiernos pueden construir aceras y carriles bici que permitan caminar e ir en bicicleta de manera segura, así como rediseñar los mercados del transporte público y de la electricidad para facilitar modelos comerciales rentables para los operadores de autobuses eléctricos y de energía renovable. Pueden exigir que una parte de los edificios de nueva construcción estén bien aislados o preparados para el uso de energía solar distribuida, aprovechando costes más bajos en la fase de construcción, y pueden ofrecer subsidios para instalar bombas de calor o cocinas eléctricas. Los Gobiernos pueden reenfoque sus programas de expansión agrícola en prácticas conscientes de los GEI e informar a los ciudadanos sobre el valor nutricional de dietas que dependan menos de la carne. Asimismo, pueden garantizar que los trabajadores y las comunidades afectadas por la reducción de las centrales eléctricas de carbón participen en el diseño de políticas de transición justa y reciban compensaciones y apoyo para adaptarse. Por otro lado, los Gobiernos también pueden poner en marcha procesos de contratación pública para crear mercados para materiales sostenibles y liderar el camino con flotas eléctricas, edificios públicos energéticamente eficientes o comidas respetuosas con el medioambiente en escuelas y oficinas públicas.

Estos ejemplos no pretenden clasificar las oportunidades, los beneficios, las barreras o las intervenciones gubernamentales más importantes de reducción de emisiones que permitan la transición. Por el contrario, nuestro trabajo se une a muchas contribuciones anteriores al mostrar que la mitigación del cambio climático es una tarea compleja que requiere un enfoque gubernamental plenamente integrado que haga hincapié en el desarrollo sostenible (Fay et al., 2015), en lugar de depender de un instrumento de política central —como se denomina en ocasiones a la fijación de precios al carbono— (véase también Lilliestam et al., 2021), o depender de uno o dos ministerios claves, como el de Medio Ambiente o Finanzas. Muchos documentos anteriores se han enfocado en la importancia de evaluar transformaciones sectoriales hacia los objetivos de descarbonización a largo plazo (p. ej., Clarke et al., 2014; Rogelj et al., 2019., Bataille et al., 2016; Geels et al., 2019; Arregui et al., 2020); al proporcionar ejemplos de políticas sectoriales que pueden utilizarse para reducir las emisiones (Roelfsema et al., 2018, Fekete et al., 2021); o subrayar los numerosos beneficios económicos y de desarrollo de la descarbonización, incluso para una recuperación sostenible posterior a la COVID-19 (Boehm et al., 2021; Cavallo et al., 2021). Hasta donde sabemos, este documento es el primero que enumera sistemáticamente las transformaciones que pueden ayudar a los países a alcanzar las emisiones netas iguales a cero en los principales sectores emisores, así como los beneficios asociados a ellas, y distingue explícitamente las transformaciones sectoriales y las políticas necesarias para desbloquearlas, a partir de un diagnóstico de los obstáculos que impiden que estas transformaciones sucedan. Si bien nuestro trabajo es relevante a escala global, también aportamos un enfoque novedoso para América Latina y el Caribe.

Las intervenciones gubernamentales por priorizar han de depender del contexto local. Los Gobiernos pueden considerar diferentes factores al desarrollar hojas de ruta, como (1) la urgencia de la acción para alcanzar los objetivos de emisiones netas iguales a cero, que depende de si la inacción bloquea el desarrollo intensivo en carbono y dificulta la acción posterior (Vogt-Schilb et al., 2015), (2) las sinergias requeridas entre acciones de reducción de emisiones y las prioridades de desarrollo; y (3) el espacio fiscal, la capacidad institucional y el capital político disponible para invertir en hacer realidad cada intervención del Gobierno. El organismo gubernamental y el nivel de gobierno (por ejemplo, municipal o federal) que debe intervenir también depende del contexto del país, principalmente de las instituciones locales y de las atribuciones legales. En ese sentido, este documento no es más que una aportación que los Gobiernos pueden utilizar para diseñar estrategias de descarbonización.

El resto de este documento está estructurado de la siguiente manera. Las siguientes seis secciones se enfocan en un sector cada una (electricidad, transporte, agricultura, silvicultura y uso de la tierra, edificios, industria y residuos). Cada sección incluye una o más transformaciones claves para alcanzar las emisiones netas iguales a cero. Cada transformación comienza con la definición de una visión que describe la meta a la que se aspira. A continuación, se describen los cambios necesarios para alcanzar esta visión, los beneficios que podría reportar la puesta en práctica de la visión, las barreras que hay que tener en cuenta y las políticas que pueden levantar eficazmente estas barreras. La última sección presenta conclusiones.



Electricidad

La generación de electricidad y calor causó el 24 % de las emisiones globales de GEI en 2018 (Lamb et al., 2021). En América Latina y el Caribe, el sector es responsable del 13 % de las emisiones totales de GEI (WRI, 2021). El sector energético (que incluye la electricidad, la generación de calor, los edificios y el uso industrial de la energía) emitió 33,5 GtCO₂ en 2021 o, aproximadamente, dos tercios de las emisiones globales (Agencia Internacional de la Energía [IEA por sus siglas en inglés], 2021a). Casi la mitad de estas emisiones fueron causadas por el carbón, alrededor del 20 % por el gas natural y las emisiones restantes estuvieron vinculadas al petróleo y otros combustibles fósiles. Si los países siguen sus NDC actuales, en 2050 más del 20 % de la generación de electricidad en los países emergentes y en desarrollo seguirá basándose en el carbón (ibid., p. 39), aunque esto puede cambiar con la actualización de estas NDC, para que estén alineadas con el objetivo global de llegar a cero emisiones netas (IEA, 2021b). En América Latina, se espera que la demanda total de electricidad casi se duplique para 2040, hasta llegar a un total aproximado de 2300 teravatios-hora (TWh). La industria ligera y pesada, la refrigeración, las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), y los pequeños dispositivos eléctricos se proyectan como los principales motores del crecimiento (IEA, 2021c).

Transformación 1

Acelerar la generación de electricidad variable y flexible libre de carbono a través de fuentes como la energía solar, eólica, geotérmica e hidroeléctrica

La transformación

La electricidad limpia es la columna vertebral de la transición hacia cero emisiones netas (Clarke et al., 2014; Audoly et al., 2018; Williams et al., 2012b; Rockström et al., 2017; Bataille et al., 2020; Tong et al., 2019; Williams et al., 2021; Davis et al., 2018; Bataille et al., 2016). Esta transformación se centra en la construcción de suficientes fuentes renovables, especialmente solares y eólicas, pero también geotérmicas, hidroeléctricas, nucleares y otras plantas flexibles de generación de electricidad—en función de las propiedades específicas de cada país— (por ejemplo, las condiciones topográficas y geográficas, así como los recursos), para cubrir la demanda doméstica de electricidad, junto con suficiente energía limpia y flexible para satisfacer los picos de demanda.

Beneficios



Un beneficio clave de la electricidad limpia es el ahorro financiero que supone. La energía renovable ofrece rendimientos estables para los inversionistas, lo que se traduce idealmente en precios de electricidad más bajos para los clientes. En efecto, tanto la electricidad eólica como la solar son ahora las fuentes de energía más baratas a escala mundial, y el coste de las baterías está cayendo rápidamente (IEA, 2021a). Aunque existen diferencias regionales en función de los factores de producción como el viento o el sol, la energía solar ha alcanzado precios promedio globales de 0,04 dólares por kWh en procesos de adquisición competitivos, lo que equivale a un 27 % menos que la alternativa fósil más barata (Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA por sus siglas en inglés], 2020a). La disminución del aporte de energía fósil, como el petróleo y el carbón, también puede reducir la dependencia de los países de las importaciones de energía (IRENA, 2019a). La mayoría de los países pueden volverse más independientes desde el punto de vista energético si eliminan gradualmente los combustibles fósiles e implementan la generación de energía renovable (ibid., p. 36). Además, la generación de energía renovable puede descentralizarse más fácilmente, lo que puede ayudar a proporcionar servicios de electricidad en zonas de difícil conexión (Murphy et al., 2014; IRENA, 2017). La energía renovable también permite la integración de hogares y edificios comerciales como prosumidores de electricidad (es decir, siendo consumidores y proveedores de electricidad al mismo tiempo). La generación de energía renovable es menos intensiva en agua que la de combustibles fósiles, lo que mejora el acceso al agua y la seguridad hídrica (IRENA, 2015). Por último, toda la cadena de valor, desde la fabricación hasta el desmontaje y el reciclaje, pasando por la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento, ofrece oportunidades para potenciar las actividades económicas y los empleos sostenibles (Llera et al., 2013; OIT, 2018). La Agencia Internacional de la Energía estimó que la transición a cero emisiones netas podría traducirse en 9 millones de nuevos puestos de trabajo netos en todo el mundo para 2030 (IEA, 2021). Si vamos más allá, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) estiman que la construcción, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de la generación renovable puede crear 43 millones de puestos de trabajo a escala global para 2050 (IRENA y OIT, 2021).

Barreras



Las mayores barreras para la adopción de energías renovables a gran escala son el capital inicial necesario, los diseños del mercado energético y la falta de infraestructura, como las líneas de transmisión (IEA, 2021).

Las energías eólica y solar requieren un alto capital, a pesar de que sus costes de ciclo de vida son más bajos y se basan en un combustible gratuito. Los mercados de capital a veces no entienden de manera adecuada la generación de energía renovable, lo que limita la disponibilidad de financiación. En los países en desarrollo, el mayor coste ponderado del capital agrava este problema. Asimismo, en la mayoría de los países, los sistemas y mercados eléctricos se crearon en torno a fuentes de combustibles fósiles —que pueden ajustarse para producir más o menos energía según las variaciones de la demanda en minutos, horas, días y estaciones—, sin tener en cuenta el carácter de las fuentes variables.

Para soportar la generación de energía renovable hace falta infraestructura (IRENA, 2016). Las redes de transmisión y distribución pueden ser inapropiadas, además de faltar infraestructuras auxiliares para la generación renovable, como el almacenamiento adecuado o las mejoras técnicas en los lugares de consumo (IEA, 2020).

La regulación existente puede inhibir el despliegue de la generación de energía renovable. Esto incluye la normativa sobre su emplazamiento, las normas de seguridad para las plantas de combustibles fósiles que se aplican a la energía renovable, la conexión a la red y las especificaciones sobre el uso de las plantas y los pagos a los productores. En muchos casos, como el de la energía hidroeléctrica, la necesaria mitigación del riesgo social y ecológico frena la realización de nuevos proyectos (IRENA, 2020b; Corporación Financiera Internacional [IFC por sus siglas en inglés], 2015). Además, si bien los recursos renovables suelen estar disponibles de forma descentralizada (por ejemplo, cubierta solar), lo que minimiza la necesidad de nueva transmisión, las normativas de la red eléctrica a menudo imponen barreras de conexión a estas tecnologías de generación a pequeña escala.

La planificación energética existente puede ser obsoleta e inconsistente con los objetivos de cero emisiones netas. Las nuevas tecnologías deben considerarse tanto desde el lado de la demanda como de la oferta. En demasiados países y regiones, la comprensión de la demanda de energía a largo plazo no refleja cambios significativos en temas como la necesidad de recarga de vehículos eléctricos o el aumento de la eficiencia energética (véase más adelante). Además, no se suelen incluir tampoco las energías renovables o se utilizan supuestos de costes obsoletos para ellas, lo que lleva a una comprensión deficiente de los beneficios del ahorro de costes a lo largo de la vida del despliegue de la generación de energía renovable, significativamente diferente de un sistema tradicional basado en la carga base (Gielen et al., 2019).

Intervenciones del gobierno



Los incentivos fiscales pueden favorecer el despliegue de energía renovable y la infraestructura de apoyo necesaria. Esto incluye medidas fiscales, como los subsidios para inversiones de hogares o empresas, depreciación acelerada, garantías públicas y asociaciones público-privadas (Krogstrup y Oman, 2019).

Los mecanismos de apoyo, como las tarifas de inyección o alimentación a la red (feed-in-tariffs), las subastas y otras medidas de regulación de precios, también han resultado efectivas (IRENA, 2020b; Rockström et al., 2017).

Se puede ofrecer financiación orientada específicamente para la mejora de las líneas de transmisión, las redes de distribución y al despliegue de infraestructura de almacenamiento (por ejemplo, baterías, hidroeléctricas de bombeo e hidrógeno) (IEA, 2020a; Gielen et al., 2019). Asimismo, cualquier actualización del esquema de incentivos fiscales debe ir acompañada de una eliminación gradual de los subsidios a los combustibles fósiles cuidadosamente diseñada, con medidas para mitigar los impactos sociales de esta actualización (IEA 2021b; Parry et al. 2021).

Se pueden crear o fortalecer sistemas financieros y mercados de capital funcionales. Los instrumentos financieros pueden ayudar a reducir el elevado coste inicial de las energías renovables y su infraestructura asociada. Por su parte, los bonos verdes o vinculados a la sostenibilidad pueden aprovechar tanto los mercados privados nacionales como los internacionales (IRENA, 2020c). Las instituciones financieras internacionales, como los bancos de desarrollo, pueden conceder préstamos que reduzcan el coste del capital. El aumento de la transparencia (p. ej., mediante la recopilación de datos específicos de financiamiento climático) también puede ayudar a abordar los desafíos del mercado crediticio que conducen a un bajo financiamiento de proyectos renovables (Krogstrup y Oman, 2019).

Las regulaciones actualizadas pueden promover la generación renovable. Las normas de emisión de GEI y los estándares de cartera renovable pueden ayudar a garantizar que los operadores privados inviertan en energías renovables (IRENA, 2018). La normativa sobre el uso de la tierra puede actualizarse para preestablecer zonas de generación de electricidad renovable, incluyendo la aprobación acelerada de nuevos emplazamientos y garantizando la mitigación de los riesgos sociales y medioambientales. Las normas de seguridad existentes pueden adaptarse a las energías renovables para tomar en cuenta que el régimen normativo estándar para la gestión de combustibles fósiles peligrosos no es necesario (IEA, 2020a). El diseño del mercado de la electricidad puede dar prioridad al uso de fuentes de energía renovable variables sobre los combustibles fósiles tradicionales, que tienen mayores costes de producción. La medición neta de la electricidad utilizada por los prosumidores puede mejorar los incentivos financieros para la distribución de la energía renovable.



Por su parte, la variabilidad puede abordarse mediante el despliegue de opciones de flexibilidad, almacenamiento y gestión de la demanda. La energía eólica y solar variable y barata puede proporcionar entre el 60 y el 90 % de la energía necesaria, pero debe estar respaldada por una gestión activa de la demanda suficiente y por una generación limpia y flexible (p. ej., energía hidroeléctrica de embalse, geotérmica, incluso nuclear, especialmente en países con generación nuclear ya existente, y en algunos casos combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono). Asimismo, también se necesita capacidad de almacenamiento en múltiples períodos de tiempo (p. ej., baterías, energía hidroeléctrica de bombeo, hidrógeno verde) para equilibrar la oferta y la demanda (Sepulveda et al., 2018; Jenkins et al., 2018; Baik et al., 2021; IEA, 2021d).

Una mejor planificación puede alinear los planes de expansión energética con los objetivos de cero emisiones netas. Puede proporcionarse financiación para promover los análisis de la oferta y la demanda de energía que consideren diferentes patrones climáticos regionales y escenarios de uso. Estos análisis proporcionan una estimación del suministro necesario de energía firme bajo demanda, a través del almacenamiento o hidroeléctrica en caso de que se presente un bajo suministro de las energías renovables. En Chile, el plan energético oficial a largo plazo se está actualizando para que sea consistente con el objetivo del país de alcanzar cero emisiones netas para 2050; anticipa, por ejemplo, una mayor demanda de electricidad que traerá la movilidad eléctrica. Asimismo, también prevé la necesidad de desarrollar líneas de transmisión y capacidad de almacenamiento adicional para hacer frente al aumento de la generación de energía eólica y solar (Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2021).

Transformación 2

Eliminación gradual de toda la generación de electricidad con combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el diésel



La transformación

Continuar utilizando la infraestructura energética de combustibles fósiles ya existente y añadir proyectos fósiles aún en desarrollo emitiría más GEI de lo que es coherente con mantener el calentamiento a 1,5 °C. Aproximadamente, el 50 % de las emisiones comprometidas en la infraestructura existente están asociadas a la generación de electricidad (Tong et al., 2019). Así mismo en América Latina y el Caribe, las centrales eléctricas existentes y planificadas, especialmente las de gas, emitirían el doble de GEI de lo que los escenarios revisados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) sugieren que sería coherente para el cumplimiento de las metas de 1,5 °C o 2 °C en la región (González-Mahecha et al., 2019). Esto pone de manifiesto la importancia de eliminar gradualmente toda la generación de electricidad de origen fósil, especialmente la de plantas de energía que se pueden sustituir por energías renovables variables, incluso si no se han alcanzado los períodos de amortización para ciertos proyectos de generación en el momento de su eliminación. Esta transformación también incluye el cese lo antes posible del desarrollo de nuevos proyectos basados en combustibles fósiles y la consideración explícita de la captura y almacenamiento permanente de más del 90 % de CO₂ para proyectos en construcción (IEA, 2021d).

Beneficios



La eliminación gradual de los combustibles fósiles brinda beneficios para la salud gracias a un aire, agua y suelo más limpios. Por cada TWh producido, el carbón causa 24,5 muertes adicionales y más de 13 000 enfermedades, el petróleo 18,4 muertes y más de 9500 enfermedades y el gas natural 2,8 muertes y más de 700 enfermedades (Markandya y Wilkinson, 2007). La extracción de agua para la generación de energía puede reducirse hasta en un 95 % para 2050 si el 100 % de la energía del sistema energético mundial proviene de energías renovables (Lohrmann et al., 2019). También se puede reducir la dependencia a largo plazo de las importaciones de combustibles fósiles (IRENA, 2020d, 2019b) y se pueden mitigar los impactos negativos de las grandes rentas petroleras en la diversificación económica, la innovación, las instituciones y la estabilidad política (IRENA, 2019a). Además, muchos de los beneficios mencionados en la Transformación 1 (p. ej., seguridad energética y costes reducidos) están relacionados con la eliminación gradual de los combustibles fósiles.

Barreras



Gran parte de la planificación energética de los Gobiernos continúa teniendo en cuenta el uso de centrales eléctricas y extracción de combustibles fósiles (IEA, 2018; SEI et al., 2021). La disminución, a menudo prevista pero no real, de la fiabilidad del sector eléctrico (por ejemplo, debido a la pérdida de fuentes de energía que pueden equilibrar la generación



renovable variable) supone otro obstáculo. Esto se vincula con la falta de capacidad técnica y conocimiento para integrar la generación de energía renovable variable sin perjudicar la fiabilidad (Sepúlveda et al., 2018).

Los impactos negativos en las regiones y en los trabajadores que dependen de las industrias de combustibles fósiles pueden suponer un obstáculo clave. Esto incluye pérdidas potenciales dentro de la cadena de valor de la industria del carbón (por ejemplo, minería y transporte) y los impactos en el empleo en las comunidades (GIZ, 2021). En el caso de Chile, 4000 personas trabajaban en centrales eléctricas de carbón cuando el Gobierno decidió comenzar a planificar su eliminación gradual. Estos impactos también pueden afectar a comunidades específicas; en las comunidades más expuestas de Chile, la energía del carbón representa casi el 4 % del PIB local, y el 7,1 % de los residentes de estas comunidades trabaja en una planta de energía de carbón (Saget et al., 2020). Los aspectos legales, como los contratos a largo plazo con empresas de extracción y servicios públicos, pueden representar otros impedimentos adicionales.

Las consideraciones de economía política relacionados a los ingresos financieros a corto plazo de la extracción de recursos fósiles ralentizan la dinámica de la eliminación gradual (IRENA, 2019a). Los impactos fiscales de la eliminación de los combustibles fósiles pueden ser importantes para los países o Gobiernos subnacionales que dependen de sus regalías. En todo el mundo, los países que dependen de los combustibles fósiles podrían experimentar un descenso del 51 % en los ingresos gubernamentales procedentes del petróleo y el gas si se produce un cambio hacia un mundo con bajas emisiones de carbono en las próximas dos décadas (Coffin et al., 2021). En América Latina y el Caribe, más de 3 billones de dólares en regalías petroleras y más de 200 000 millones de dólares en regalías de gas natural están en riesgo de desaparecer para 2035 (Solano-Rodríguez et al., 2021; Welsby et al., 2021).

Intervenciones del gobierno



Se pueden establecer objetivos obligatorios para la eliminación gradual de combustibles fósiles, teniendo en cuenta que la terminación anticipada de los acuerdos de compra de energía existentes podría generar costes adicionales (IEA, 2018). Los incentivos financieros pueden utilizarse para la eliminación temprana, y es necesario eliminar gradualmente cualquier subvención restante para la tecnología basada en los fósiles (IEA, 2021d). Para garantizar la integridad de los recursos públicos, los beneficiarios de dichos incentivos no deben construir ni planificar la creación de nuevas infraestructuras para combustibles fósiles (incluido el gas natural). Las políticas disponibles para disminuir el impacto social y económico de su eliminación, y asegurar una transición justa para las regiones y comunidades afectadas, incluyen brindar beneficios financieros que alivien el impacto potencial de la pérdida de puestos de trabajo, incentivos para la reconversión y mejora de las habilidades, y un apoyo financiero más amplio para las regiones afectadas para atraer



a otros sectores y negocios (GIZ, 2021; Saget et al., 2020). Los países ricos en recursos pueden poner de relieve la economía política de las oportunidades a largo plazo de la eliminación temprana de los combustibles fósiles. Muchos países tendrán que planificar la diversificación de su economía y alejar los regímenes fiscales de la dependencia de los combustibles fósiles (Delgado et al., 2021). Esto puede comenzar mediante el análisis y la planificación de los impactos que la eliminación de los combustibles fósiles tendría en los sistemas financieros públicos y privados, prohibiendo nuevas inversiones que aumentarían ese impacto en el futuro, programando la retirada de los activos de combustibles fósiles existentes y estableciendo una estrategia financiera para mitigar el impacto de la reducción de las regalías de los combustibles fósiles (ibid).



Transporte

El sector del transporte es responsable del 14 % de las emisiones globales de GEI (Lamb et al., 2021). El transporte por carretera, dentro del que se incluyen automóviles, camiones y autobuses, representa el 75 % de las emisiones de este sector (IEA, 2021d). En América Latina y el Caribe, el transporte es responsable de aproximadamente el 15 % de las emisiones netas de GEI y es una de las fuentes de emisiones de crecimiento más rápido en la región —a la par de la generación de electricidad— (WRI, 2021). Por su parte, la demanda y las emisiones relacionadas aumentarán, impulsadas principalmente por la urbanización y el PIB, así como por el crecimiento de la población. Sin embargo, para 2050 las emisiones del transporte deberán reducirse a un tercio de los niveles de 2019 para poder cumplir con los objetivos de cambio climático.

Transformación 3

Reducir el transporte motorizado individual y aumentar el transporte público, caminar e ir en bicicleta



La transformación

Para 2050, se espera que la demanda de transporte urbano de pasajeros aumente 2,3 veces a escala mundial (ITF, 2021) y 3,5 veces en la región de América Latina y el Caribe (Blanco et al., 2022). Los automóviles y motocicletas individuales tienden a emitir más GEI por pasajero-kilómetro que las opciones de transporte público, como autobuses, tranvías y metros. La huella de carbono de las opciones de transporte público se optimiza cuando se alcanzan altas tasas de ocupación y funcionan con electricidad en lugar de combustibles fósiles (consulte también las siguientes transformaciones). Asimismo, caminar e ir en bicicleta siempre genera emisiones mucho menores que los automóviles privados (IPCC et al., 2014).

En las áreas urbanas de países desarrollados, aproximadamente el 52 % de la movilidad la proporciona el transporte motorizado privado, mientras que el transporte público y el transporte no motorizado representan el 21 % y el 26 %, respectivamente. En los países en desarrollo, esta participación es del 33 %, el 27 % y el 40 %, respectivamente, con una participación cada vez mayor del transporte motorizado privado en los últimos años (Sustainable Mobility for All, 2017). Por ejemplo, la ciudad de Bogotá ha experimentado una disminución en el uso del transporte público masivo del 40 % al 35 % desde 2015 (Blanco et al., 2022). Además de los automóviles privados, las motocicletas se están volviendo más populares, ya que la flota mundial pasó de 3,7 millones en 2012 a 5,2 millones en 2021, tras un año de crecimiento récord.

Según el marco evitar-cambiar-mejorar, evitar estratégicamente el transporte es la opción más deseable pero también la más difícil de lograr (Creutzig et al., 2018). Esto puede hacerse usando un diseño urbano que reduzca la necesidad de movilidad o usando tecnología para aumentar el teletrabajo y reducir la necesidad de reuniones en persona para hacer negocios o interactuar con el Gobierno.

Pasar de modos motorizados individuales, como automóviles y motocicletas, al transporte público, la bicicleta y caminar puede reducir aún más las emisiones. Cumplir los objetivos del Acuerdo de París requiere una reducción de los viajes en automóvil privado de al menos un 8 % con respecto a los niveles actuales para 2030 (Boehm et al., 2021).

Beneficios



Una disminución del transporte motorizado individual reduce los costes del sistema sanitario al reducir la contaminación y los accidentes (Vohra et al., 2021; Douglas et al., 2011; Suhrcke et al., 2006). El transporte público también puede reducir la congestión y los accidentes (BID, 2021b). En Costa Rica, por ejemplo, los costes de la congestión, los accidentes de tráfico y los impactos negativos de la contaminación en la salud ascienden



a 5000 millones de dólares al año, y disminuir el transporte individual puede reducir estos costes (Groves et al., 2020). Se estima que, en Estados Unidos, se habrían obtenido 87 000 millones de USD en ganancias de productividad si no hubiera habido tráfico en 2018 (Foro Económico Mundial [WEF, por sus siglas en inglés], 2019). En las ciudades de La Paz y Medellín, los teleféricos han demostrado ahorrar tiempo a los viajeros, al impactar positivamente en su decisión de transporte e incluso en su empleabilidad (Yañez-Pagans et al., 2019). En las ciudades de Lima, Perú y Cali (Colombia), las inversiones en Sistemas de Autobús Metropolitano Rápido (BRTs, por sus siglas en inglés), combinadas con reformas en el sector informal de autobuses, dieron como resultado grandes ahorros en el tiempo de viaje dentro de los vehículos y reducciones en las emisiones locales y globales de los vehículos de tránsito en el corredor vial (Scholl et al., 2015).

Además, alejarse del transporte individual motorizado permite una redefinición del espacio público, como revivir las calles como áreas peatonales o crear áreas verdes que mejoren el atractivo de los vecindarios y traigan beneficios climáticos colaterales, como reducir las temperaturas o brindar protección contra inundaciones (Foster et al., 2011; Pincetl y Gearin, 2005). En 2002, el estacionamiento gratuito para automóviles en Estados Unidos supuso un subsidio de 127 000 millones de dólares (Shoup, 2021). Si este dinero se transformara en cargos por estacionamiento o impuestos a la propiedad, podría ser redirigido y tener beneficios sociales. En un contexto donde las calles congestionadas se han convertido en un recurso común sobreexplotado, las acciones de redistribución del uso de la superficie (y, por ende, del uso del tiempo) pueden mejorar la equidad social.

Barreras



La infraestructura actual favorece a los automóviles sobre los peatones y ciclistas, y las personas no pasarán a ir en bicicleta o caminar si hacerlo representa un riesgo significativo para su seguridad. A menudo, faltan carriles separados y semaforización específica para bicicletas. En los países en desarrollo, a menudo también faltan aceras e iluminación para peatones. En contraste, muchas jurisdicciones exigen la provisión de infraestructura centrada en el automóvil, como lo son los requisitos para espacios de estacionamiento de edificios o vecindarios. Además, las inversiones en infraestructura de transporte público a menudo se realizan al margen de la planificación del uso del suelo. Esto resulta en una falta de infraestructura segura para que los peatones puedan acceder a las estaciones. También implica la continuación de la expansión urbana descontrolada con patrones de uso del suelo de baja densidad, lo que no favorece el uso del transporte público ni de los modos activos. Lo anterior hace que las alternativas a los automóviles sean menos cómodas y más peligrosas. Los datos de la Unión Europea muestran que los peatones y ciclistas representan el 21 % y el 8 % de las muertes en carretera, respectivamente (Consejo Europeo de Seguridad en el Transporte [ETSC] et al., 2020).



El transporte público suele ser poco atractivo en términos de frecuencia, conectividad y calidad de los vehículos (Yañez-Pagans et al., 2019). Además, en comparación con los automóviles individuales, que brindan una solución de punto a punto para los usuarios, el transporte público puede requerir cambios de línea y modo, y estar mal integrado con las opciones de caminar e ir en bicicleta. Asimismo, el transporte público también puede ser inseguro, especialmente para las mujeres (Martínez et al., 2018). Los problemas asociados al transporte público son especialmente evidentes en América Latina, donde el 80% de las personas vive en ciudades (Atlantic Council, 2014) y el transporte público no ha seguido el ritmo de la urbanización (Scholl et al., 2021). Las brechas en la cobertura del transporte público para las comunidades que viven en zonas periféricas y la falta de integración de las opciones de transporte dan como resultado tiempos de viaje largos que requieren múltiples transbordos, tarifas inasequibles, brechas de acceso a la movilidad y una dependencia de modos informales, como el transporte en minibuses organizado de forma privada y a menudo mal mantenido, especialmente utilizado por las poblaciones pobres (Scholl et al., 2015). La división ineficiente del transporte urbano en diferentes zonas plantea otro obstáculo. La división de responsabilidades entre municipios, distritos y el nivel federal retrasa la toma de decisiones y la implementación de mejoras, y además añade un componente de complejidad para el viaje del usuario, como la compra de varios billetes para un viaje o el pago múltiple de un viaje dentro de una misma zona debido a un breve cruce con otra zona (Blanco et al., 2022).

El uso del automóvil está ampliamente incentivado en las políticas de transporte actuales, por ejemplo, a través de subsidios ocultos para el transporte motorizado individual, como la socialización de los costes del estacionamiento (ver arriba) y el uso gratuito de las carreteras (Mattioli et al., 2020). Además, el financiamiento para el transporte público resulta escaso en América Latina y el Caribe —más aún desde el comienzo de la pandemia de la COVID-19. Esto conduce a retrasos en el mantenimiento del transporte y mejoras de la infraestructura, lo que en última instancia disminuye el atractivo de las opciones de transporte público (Blanco et al., 2022).

Las regulaciones laborales y las políticas de los empleadores existentes pueden ir en contra del teletrabajo. Por ejemplo, las pólizas de seguro de salud pueden no cubrir los accidentes en el hogar, o los empleadores pueden instar a que sus empleados estén físicamente presentes en oficinas específicas.

Intervenciones gubernamentales



Para reducir la demanda de transporte, los Gobiernos pueden integrar objetivos de accesibilidad en la planificación del uso del suelo en todos los niveles de desarrollo urbano y rural (OCDE, 2021). Los Gobiernos pueden crear normativas y mandatos de zonificación para garantizar que los nuevos desarrollos se diseñen para permitir rutas de transporte cortas, por ejemplo, aumentando su densidad (Ribeiro et al., 2019) y garantizando que la



infraestructura de la vida diaria, como las escuelas, los supermercados y las farmacias, sea accesible localmente, idealmente a una distancia a pie o en bicicleta (OCDE 2021).

La inversión en infraestructura se puede utilizar para habilitar el transporte no motorizado y público. Se pueden establecer asociaciones público-privadas para dividir costes o mejorar la viabilidad financiera de los proyectos de infraestructura, utilizadas durante décadas en América Latina y el Caribe (Congressional Research Service, 2021; BID Invest, 2020). Se necesita inversión para construir una infraestructura dedicada al transporte público, como carriles rápidos para autobuses, rieles para tranvías y sistemas subterráneos para metro (Yañez-Pagans et al., 2019). Dentro de las opciones de transporte público, el coste inicial, el tiempo requerido para construir la infraestructura y el aumento de la capacidad son más bajos para los autobuses y los sistemas de autobuses rápidos, intermedios para los tranvías y más altos para los sistemas de metro. La infraestructura para ir en bicicleta y caminar debe centrarse en la comodidad y la seguridad. La introducción de carriles para bicicletas físicamente separados del tráfico de automóviles, de los automóviles estacionados (para prevenir el «dooring» [portazo]) y una semaforización apta para bicicletas son claves para incentivar su uso (Wegman et al., 2012). Una red amplia y de fácil acceso de bicicletas públicas, integrada con sistemas de transporte masivo, puede incentivar viajes cortos y andar en bicicleta desde un área residencial hasta la próxima estación de transporte público, generalmente conocida como la última milla (DeMaio, 2009). También es necesario mejorar la infraestructura para los peatones, incluida la provisión de cruces, pasarelas e intersecciones seguros (ETSC et al., 2020).

Una mejor planificación y gestión urbanas también son cruciales para fomentar el transporte público. Estos incluyen la coordinación del uso del suelo con el sistema de transporte público, estrategias de desarrollo orientadas al tránsito que agrupen usos mixtos del suelo y desarrollos de mayor densidad alrededor de las estaciones del sistema (Suzuki et al., 2013; Scholl et al., 2015), asegurándose de que las líneas de transporte público resulten efectivas para conectar los centros de población con todos los centros de ocio, trabajo, educación y servicios de salud de uso común. Los Planes de Movilidad Urbana Sostenible son una herramienta que puede ayudar a respaldar este enfoque de planificación más sistemático e integrado. También es clave mejorar la calidad del transporte público a través de la provisión de más vehículos para aumentar la frecuencia, proporcionar transporte público bajo demanda, usar sistemas de transporte rápido de autobuses para evitar la congestión y mejorar la seguridad (Axsen et al., 2020).

Las normativas pueden promover la popularidad del transporte público, los desplazamientos a pie y en bicicleta. Pueden incluir la definición de zonas de bajas o nulas emisiones con un tratamiento preferente para el transporte no motorizado o el establecimiento de normas de diseño para las vías peatonales y los carriles bici (Hull y O'Holleran, 2014). Por un lado, los códigos de construcción pueden exigir instalaciones de apoyo para ciclismo, tales como almacenamiento seguro cubierto para bicicletas en



edificios residenciales, comerciales y de oficinas, y duchas y vestuarios en los edificios corporativos (O'Neill et al., 2020). Por otro lado, las normas para estacionamiento de automóviles pueden reducirse o eliminarse, o los costes de estacionamiento pueden aumentar para crear flujos de ingresos adicionales dirigidos a mejorar el transporte público. Para garantizar el interés de los usuarios y la aceptabilidad social, la normativa puede diseñarse y aplicarse con un enfoque participativo con los viajeros urbanos y otras partes interesadas (Sohail et al., 2006). Las zonas de transporte deben reducirse al mínimo para que la gestión del transporte público sea eficiente, tanto para el titular público como para los usuarios. La emisión de billetes también puede simplificarse, por ejemplo, haciendo que sean válidos en varias zonas en lugar de una sola zona (Blanco et al., 2022).

Los Gobiernos pueden crear incentivos financieros para las alternativas al transporte privado. Los recursos públicos pueden subsidiar el precio de los billetes de transporte público para todos o para grupos específicos, crear beneficios fiscales para el uso de transporte no motorizado (Cats et al., 2014) y reducir el coste de compra de bicicletas de pasajeros y de carga (Martin et al., 2012). Por el contrario, los peajes de las carreteras, los peajes urbanos y los precios del estacionamiento en espacios públicos pueden desincentivar el uso del automóvil (Mattioli et al., 2020). Las políticas de tarificación vial pueden ayudar a internalizar los costes ambientales del transporte motorizado privado e incentivar modos de transporte con menos emisiones de carbono, como el transporte público, caminar y andar en bicicleta. Sin embargo, tales políticas serán más aceptables políticamente en el contexto de la inversión en sistemas de transporte público de alta calidad, socialmente inclusivos y accesibles (Scholl et al., 2014). También pueden utilizarse los programas de intercambio de automóviles conocidos como cash for clunkers («efectivo por chatarra»), que subsidian la compra de bicicletas eléctricas o el transporte público a cambio de desechar automóviles viejos (Foro Económico Mundial, 2021). Para financiar el mantenimiento necesario y las mejoras en la infraestructura, los Gobiernos pueden crear planes a largo plazo que establezcan requisitos de financiación. Estos planes se pueden utilizar para involucrar la financiación tanto del sector privado como de bancos de desarrollo, y atraer recursos de estas fuentes. Los sistemas de transporte público también pueden introducir sistemas de captura de valor del suelo combinados con una planificación del desarrollo urbano centrado en el transporte para crear otro flujo de ingresos que puede utilizarse para inversiones esenciales (Blanco et al., 2022; Patermina et al., 2022).

El teletrabajo puede fomentarse creando el entorno normativo necesario, por ejemplo, redefiniendo los estándares de salud laboral para incluir cobertura en las oficinas en casa, o exigiendo que los empleadores permitan un número mínimo de días para trabajar desde casa. Asimismo, se pueden subsidiar o se pueden ofrecer beneficios fiscales para las inversiones en equipo de oficina en el hogar (Creutzig et al., 2018). Al emerger de la pandemia de COVID-19, los gobiernos pueden aprovechar esta oportunidad, ya que las investigaciones demuestran que la alteración en el comportamiento de los viajes es un catalizador ideal para implementar cambios fundamentales (Williams et al., 2012a).

Transformación 4

Reemplazar los vehículos de pasajeros de diésel y gasolina por vehículos eléctricos y de cero emisiones



La transformación

La mayor parte de las emisiones del transporte de pasajeros por carretera provienen de la quema de gasolina o diésel en los vehículos. En 2021, la alternativa libre de emisiones, los vehículos eléctricos (VE), representaron el 9 % de las ventas mundiales de automóviles (IEA, 2022a), con un aumento del 100 % en comparación con 2020, ya que sus costes continúan bajando y las redes de carga siguen desplegándose (BNEF, 2021). En 2021, se vendieron aproximadamente 100 000 vehículos eléctricos e híbridos en América Latina. La sustitución de los vehículos de combustibles fósiles por VE permite eliminar todos los GEI del tubo de escape y las emisiones locales de contaminantes atmosféricos, suponiendo que su electricidad provenga de generación renovable. Esta transformación tiene sentido en todos los países, incluso en aquellos en los que la generación de energía procede actualmente de combustibles fósiles, cuando se combina con la política de descarbonización del suministro eléctrico para 2050 (Audoly et al., 2018). En el Escenario de Desarrollo Sostenible de la IEA, que es consistente con emisiones netas iguales a cero entre 2050 (para los países desarrollados) y 2070 (para los países en desarrollo), se espera que la demanda de electricidad para el transporte por carretera en América Latina aumente en 44 TWh para 2040, lo que representa menos del 5 % del crecimiento total proyectado de la demanda de electricidad en la región (IEA, 2021c).

Beneficios



La electrificación del transporte puede aportar beneficios financieros. Los sistemas de propulsión eléctrica son sustancialmente más simples, más fiables y consumen mucha menos energía que las alternativas de combustibles fósiles, lo que, combinado con los precios de la electricidad, que suelen ser más bajos que los de la gasolina, pueden resultar en un coste de propiedad más bajo durante su vida útil. En algunos casos, los costes del ciclo de vida de los autobuses eléctricos ya son inferiores que los de autobuses diésel. En Ciudad de México y Santiago de Chile, el coste total de propiedad de los autobuses eléctricos es un 10 % y un 20 % más bajo que el coste de la tecnología de combustibles fósiles tradicional, respectivamente (Banco Mundial, 2019).

La electrificación del transporte también conlleva beneficios para la salud asociados a la disminución de la contaminación del aire local por la reducción gradual del uso de combustibles fósiles: un aire más limpio reduce el riesgo de enfermedades cardiorrespiratorias (IEA, 2016). De hecho, en 2015, el sector del transporte fue responsable de aproximadamente el 11 % (385 000 personas) de todas las muertes prematuras debidas a la contaminación del aire a escala mundial, lo que se traduce en 7,8 millones de años de vida perdidos (Anenberg et al., 2019).

Si la electrificación se logra reemplazando los automóviles antiguos por otros más nuevos, se pueden conseguir beneficios adicionales para la salud, ya que los automóviles más



nuevos vienen con características de seguridad nuevas o mejoradas, que incluyen asistencia en carretera, sensores de colisión, *airbags*, frenos antibloqueo o mejores sistemas de iluminación. Estas mejoras de seguridad pueden resultar en una disminución de las fatalidades hasta en un 70 % y una reducción de lesiones de entre un 40 y un 70 % (Ernstberger et al., 2015).

Por último, la electrificación del transporte reduce la dependencia de las importaciones de petróleo para los países que no lo extraen y tiene un impacto positivo en la variabilidad de los precios, ya que los precios de la electricidad, si provienen predominantemente de la generación de energía renovable, son mucho más predecibles que los volátiles precios del petróleo (IEA, 2021c).

Barreras



La falta de infraestructura de apoyo para el abastecimiento de combustible y el mantenimiento de los vehículos eléctricos, como estaciones de carga en las carreteras o estacionamientos, es un desafío específico para las regiones con una alta proporción de áreas rurales y de baja densidad de población (IEA y OCDE, 2019). En América Latina y el Caribe se ha iniciado el despliegue de infraestructura de carga semirrápida y rápida, con el mayor número de cargadores en México y Brasil. En comparación con la Unión Europea, América del Norte o China, la adopción de la infraestructura de recarga está rezagada en América Latina y el Caribe (Quiros-Tortos et al., 2019). Las estimaciones de Estados Unidos muestran que, si el 50 % de los vehículos vendidos fueran totalmente eléctricos en 2030, el país necesitaría una red de 1,2 millones de cargadores públicos y 28 millones de cargadores privados, es decir, 20 veces el tamaño de la red actual. Esto se traduce en un coste de 35 000 millones de dólares (McKinsey, 2022).

Los automóviles y autobuses eléctricos tienen unos costes de capital iniciales más elevados, lo que puede resultar difícil de financiar para los hogares y las empresas (Lefevre y BID, 2021). La transición a los VE puede erosionar la base impositiva de los países que utilizan impuestos sobre la gasolina y el diésel (Cesar et al., 2022). Las regulaciones existentes están diseñadas para el transporte de combustibles fósiles; por ejemplo, las licitaciones gubernamentales para el transporte público o las fórmulas utilizadas para determinar el precio de los billetes suelen dar por sentado que se trata de autobuses diésel, lo que efectivamente impide que se autoricen los VE para prestar este servicio (Lefevre y BID, 2021). Los hogares y las empresas a menudo no están familiarizados con la tecnología eléctrica y carecen de información, por ejemplo, en cuanto al uso de combustible, la autonomía máxima que suele necesitarse, la transparencia de costes a lo largo del ciclo de vida del vehículo y su comodidad (DellaValle y Zubaryeva, 2019; Krogstrup y Omán, 2019). En los países que no cuentan con una flota eléctrica actual, el tamaño del mercado puede ser demasiado pequeño para que los concesionarios de automóviles consideren la importación de VE si no se generan mecanismos de estimulación de la demanda, tales como la adopción de la infraestructura de carga y el apoyo a la inversión en VE. Los mercados mundiales de automóviles usados, que envían



automóviles basados en combustibles fósiles a países de ingresos bajos y medios, podrían ralentizar la adopción de VE (IDDRI, 2021a). Por último, los subsidios a los combustibles fósiles en muchos países incentivan los vehículos de combustión interna (IEA, 2018; Parry et al., 2021) (véase la transformación anterior).

Intervenciones del gobierno



Se necesita la implementación de cambios sistemáticos en las políticas para permitir esta transformación (OCDE, 2021). Para incentivar el transporte electrificado se requiere infraestructura. Los Gobiernos pueden planificar y construir o adquirir redes centrales de carga de combustible (por ejemplo, en las principales autopistas) y construir carriles y plazas de estacionamiento para vehículos de cero emisiones (IEA y OCDE, 2019). Los ejemplos de la Unión Europea muestran que los Gobiernos también pueden incentivar a las empresas de energía para que construyan una infraestructura de carga, por ejemplo, mediante la mejora de las redes de estaciones de servicio ya existentes.

La actualización de la normativa gubernamental puede acelerar el despliegue de VE. Los mandatos pueden exigir que una parte mínima de los automóviles vendidos en un mercado determinado sea de cero emisiones. Esto provoca cambios entre los vendedores de automóviles e inspira la innovación en toda la cadena de valor de los VE (Wesseling et al., 2015). Además, el Gobierno puede ordenar al sector público nacional que solo adquiera VE al definir objetivos claros para la adopción por parte del sector privado a medio o largo plazo (New Climate Institute, 2020) o que establezca plazos, como 2030 o 2035, para detener la venta de automóviles nuevos con motor de combustión (IDDRI, 2021b). La creación de etiquetas estandarizadas para combustible de vehículos puede mejorar la transparencia y la información para los consumidores (Comisión Europea et al., 2021).

Los incentivos financieros pueden mejorar el atractivo de los VE. La provisión de instrumentos financieros personalizados como préstamos a tasa de interés cero, los programas de intercambio por automóviles usados de gasolina o diésel, los descuentos y las exenciones de impuestos, pueden mitigar el alto coste inicial de los vehículos eléctricos. Las exenciones de peaje y los beneficios fiscales en los seguros de automóviles para VE también pueden reducir los costes operativos (Fridstrom, 2019). Los Gobiernos pueden utilizar la planificación prospectiva para diseñar medidas que sustituyan los impuestos sobre la gasolina y el diésel por impuestos sobre la electricidad, la propiedad o el uso de automóviles, de forma que se garantice que los ingresos públicos no se vean afectados significativamente por la transición a los VE, y que los hogares y las empresas salgan mejor parados de esta transición en términos financieros (BID, 2021a).

La creación de beneficios puede hacer que el uso de VE sea más cómodo o deseable, por ejemplo, con el acceso prioritario a carriles, zonas urbanas y horarios exclusivos para vehículos de cero emisiones, tarifas viales favorables o una flexibilización de las restricciones de velocidad basadas en la contaminación (ITF - OCDE), 2021).

Transformación 5

Cambiar el transporte de mercancías por el ferrocarril, el agua y las tecnologías de bajas o cero emisiones



La transformación

El transporte de mercancías por carretera representa aproximadamente el 7 % de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía (Kaack et al., 2018). Estas emisiones podrían aumentar en un 22 % para 2050 según las tendencias actuales (ITF, 2021). En ciudades como Bogotá, el transporte de mercancías es la mayor fuente de emisiones dentro del sector del transporte. Los camiones y los trenes pueden cambiar a tecnologías de cero emisiones, como los sistemas de transmisión de baterías eléctricas o de celdas de combustible de hidrógeno, según la disponibilidad de la infraestructura y la idoneidad para la longitud típica del viaje. El transporte marítimo y fluvial puede utilizar baterías para trayectos cortos (p. ej., barcos fluviales y transbordadores), mientras que se prevé que las embarcaciones de largo alcance utilicen amoníaco, metanol o hidrógeno para sustituir el diésel (Davis et al., 2018).

Beneficios



La electrificación puede reducir los costes del transporte debido a que los vehículos requieren un menor mantenimiento, por ejemplo, trenes de transmisión menos complejos y costes de energía más bajos en comparación con las alternativas basadas en combustibles fósiles (Hall et al., 2018). Las flotas de transporte de mercancías alimentadas con electricidad o hidrógeno, especialmente las urbanas (por su proximidad a las personas), también pueden contribuir a mejorar la salud tanto por la reducción de la combustión como por la reducción de la contaminación por partículas en el revestimiento de los frenos (ver Transformación 3). Un menor transporte de mercancías por carretera reduce la inversión necesaria para mantener la infraestructura vial y disminuye los accidentes y el tráfico en la infraestructura existente.

Un cambio a largo plazo hacia trenes de carga eléctricos multimodales para el transporte de mercancías en largas distancias y camiones de batería para el transporte de corta y media distancia puede ser más barato y efectivo para los países que aún están desarrollando sus redes de transporte de carga. La IEA (2021) indica que los camiones de batería pueden ser competitivos en las zonas urbanas con infraestructura de carga nocturna y podrían combinarse con trenes eléctricos para envíos multimodales de muy larga distancia.

Barreras



La infraestructura necesaria para la operación del transporte de mercancías por carretera con cero emisiones, como las redes de carga de alta capacidad y de reabastecimiento de hidrógeno, aún no se proporciona adecuadamente (Road Freight Zero et al., 2021). La infraestructura existente a menudo favorece las carreteras en detrimento del ferrocarril y el agua, y las inversiones en infraestructura de transporte terrestre están fuertemente sesgadas hacia la infraestructura de carreteras, receptoras de un 59 % de las inversiones



totales, seguidas por el ferrocarril (30 %), el aire (7 %) y el mar (4 %) (OCDE, 2020). Para el transporte ferroviario fluvial y marítimo, la falta de sistemas y servicios de carga rápidos y eficientes, así como la falta de conexión con los centros empresariales locales y regionales, suponen otro obstáculo.

Las regulaciones de transporte a menudo favorecen el transporte de mercancías basado en combustibles fósiles (ITF, 2020), por ejemplo, se adhieren a normas de seguridad dirigidas a las tecnologías de combustibles fósiles que no son relevantes para el transporte electrificado, como el cumplimiento de la seguridad del combustible. Otro ejemplo son los estándares de GEI poco ambiciosos o diluidos. En Estados Unidos, la sustitución de los estándares de GEI de la administración Obama por otros mucho menos ambiciosos en 2020 condujo a una reducción significativa de los requisitos de eficiencia del combustible (Leard, 2021).

Las tecnologías de baja emisión de carbono existentes ofrecen una autonomía limitada con un elevado coste inicial. Debido a la falta de capacidad suficiente de las baterías, de la infraestructura de hidrógeno y de la oferta de vehículos de transporte de cero emisiones, el transporte de mercancías de larga distancia, especialmente el transporte por carretera, representa un reto permanente para los esfuerzos de descarbonización en el corto plazo (ITF - OCDE, 2021). En el caso de América Latina y el Caribe, si las normas sobre emisiones para camiones no se introducen, imponen (o no se aplican del todo), se crean pocos incentivos para que las empresas de logística modernicen su flota.

Intervenciones del gobierno



La mejora de la infraestructura vial, y específicamente las redes de recarga/reabastecimiento de combustible, puede permitir el transporte multimodal de mercancías con electricidad e hidrógeno (ICCT et al., 2017). Invertir en el transporte ferroviario, fluvial y marítimo, especialmente en las conexiones intermodales para permitir las transferencias, la infraestructura para la carga rápida, y conectar el transporte ferroviario, marítimo y fluvial, a los centros empresariales industriales regionales, puede ampliar la red y la facilidad de uso, aumentando así el atractivo de estas alternativas al transporte de mercancías por carretera (Kaack et al., 2018). La electrificación de la infraestructura portuaria y ferroviaria es otro paso necesario hacia la descarbonización del transporte de mercancías (ITF-OCDE, 2018). En las áreas urbanas, la mejora del transporte público ya existente puede ayudar a movilizar el transporte de mercancías, como se ha hecho en St. Étienne (Francia), donde los tranvías han sido equipados para entregar paquetes en la última milla en detrimento de los automóviles (TDA, 2018).


Las actualizaciones normativas que también respaldan la formalización del sector logístico pueden ayudar a abordar el transporte de mercancías con cero emisiones. Las opciones incluyen normas sobre combustibles bajos en carbono, mandatos de vehículos de cero emisiones y objetivos de adopción para el transporte de mercancías público y privado, y calendarios coordinados de retirada de los nuevos camiones de combustibles



fósiles (Road Freight Zero et al., 2021). Es necesario actualizar los estándares técnicos y de seguridad, tales como los protocolos de reabastecimiento de combustible y las boquillas de reabastecimiento estandarizadas para hidrógeno, o los estándares de propagación y fuga de electrolitos en las baterías. (ITF - OCDE, 2021). También puede considerarse la posibilidad de hacer más ecológica la contratación pública de vehículos de transporte de mercancías (Testa et al., 2016). Las regulaciones que incentivan las cadenas de suministro regionales (por ejemplo, en la producción de alimentos) pueden tener un impacto positivo en la adopción de tecnologías eléctricas de alcance limitado gracias a distancias más cortas de transporte (Inkinen y Hämäläinen, 2020).

Los incentivos financieros pueden hacer que las tecnologías de emisiones cero de carbono sean más atractivas. Las opciones incluyen amortización acelerada y beneficios fiscales o subsidios para vehículos pesados de transporte de mercancías de bajas y cero emisiones (New Climate Institute, 2020).

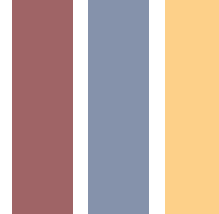
Se han implementado acciones para acelerar la adopción de tecnologías innovadoras de bajas emisiones. Esto incluye la creación de estrategias nacionales o regionales de transporte de mercancías, la contratación pública de tecnología innovadora y evaluaciones de la preparación regional para la adopción de tecnología (p. ej., determinar si existen sistemas de carga que permitan el transporte eléctrico) (ITF - OCDE, 2021). Adicionalmente, la puesta en marcha de proyectos piloto regionales para el transporte sin emisiones de carbono junto con el sector privado y el mundo académico, como el de un proyecto para probar una carga de alto rendimiento en el tráfico de camiones de largas distancias en Alemania (Asociación Alemana de la Industria del Automóvil, 2021), puede acelerar la adopción de la tecnología.



Agricultura, silvicultura y uso de la tierra

El sector de la agricultura, la silvicultura y el uso de la tierra genera el 21 % de las emisiones mundiales de GEI (Lamb et al., 2021). Estas emisiones corresponden principalmente a CO₂ procedente de la deforestación debida al uso de la tierra para la producción de alimentos, de CH₄ procedente de la cría de rumiantes (principalmente, de ganado vacuno utilizado para la producción de carne y productos lácteos) y de la producción de arroz, y de emisiones de N₂O procedentes de los fertilizantes (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2017a). La deforestación en sí misma está impulsada principalmente por el consumo de carne, ya que el 77 % de la tierra cultivable a escala mundial se utiliza directamente para el pastoreo de ganado vacuno o, indirectamente, para el cultivo de soja y otros alimentos para su producción (FAOSTAT, 2022). Para 2050, se espera que la demanda de alimentos en general y de productos animales en particular, aumente en más de un 50 % y un 70 %, respectivamente. Este incremento estará impulsado por el crecimiento de la población y de los ingresos a escala mundial (Tilman y Clark, 2014); lo que, a su vez, provocará un aumento significativo de las emisiones directas, la deforestación y la pérdida de biodiversidad si no se toman acciones transformadoras (Searchinger et al., 2019).

En América Latina y el Caribe, la agricultura, la silvicultura y el cambio de uso de la tierra (principalmente la deforestación) representaron el 46 % de todas las emisiones de GEI en 2018 (WRI, 2021). La carne de vacuno, por sí sola, es responsable de entre el 55 % y el 60 % de las emisiones procedentes de la agricultura y el cambio del uso de la tierra, mientras que solo aporta el 4 % y el 12 % de la ingesta de calorías y proteínas, respectivamente (Dumas et al., 2022). Casi una cuarta parte del área terrestre de la región es considerada como parte de las áreas protegidas (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UINC], 2021). Sin embargo, entre 1990 y 2020, la cubierta forestal disminuyó del 53 % al 46 % de la superficie terrestre de la región, lo que equivale a una destrucción de 138 millones de hectáreas, o la mitad del tamaño de Argentina. La mayor disminución relativa de la cobertura, de aproximadamente un 25 % a un 30 %, se ha observado en Paraguay, Guatemala y Nicaragua (CEPAL, 2021). Entre 2013 y 2019, el 77 % de la pérdida de bosques se debió a la agricultura comercial, que fue impulsada aproximadamente por el 25 % de la demanda de exportación y el 75 % de la demanda doméstica de la región. Más del 80 % de la deforestación en la región probablemente fue ilegal durante ese período (Dummett, Cassie, et al., 2021).



Proteger los sumideros de carbono, como los bosques y los humedales, también significa proteger los derechos de los pueblos y grupos indígenas de la región, que ocupan aproximadamente el 35 % de sus bosques y cuyos territorios representan el 14 % del carbono almacenado en los bosques tropicales a escala mundial (FAO y FILAC, 2021). Además, las emisiones netas de N_2O y CH_4 procedentes de la agricultura, si bien varían, son dos veces mayores que los promedios mundiales, y los cambios en el uso de la tierra (sobre todo la deforestación para la agricultura o el crecimiento de los bosques de CO_2) suelen ser más de la mitad de los inventarios nacionales y mucho mayores que el promedio mundial (Bataille et al., 2020). Parte del impacto de los alimentos en las emisiones está relacionado con la gestión de los residuos, que se trata en la Transformación 15. Por último, cabe señalar que el sector agrícola en América Latina y el Caribe se refiere tanto a los pequeños agricultores como a las grandes empresas agrícolas, lo que exige que las soluciones a medida incluyan ambos tipos de agricultura.

Transformación 6

**Modernizar las prácticas agrícolas
para reducir las emisiones de metano y óxido nitroso**



La transformación

El metano procedente de la descomposición anaeróbica (por ejemplo, los arrozales húmedos), la digestión de los rumiantes (p. ej., las vacas) y las emisiones de óxido nitroso procedentes de la descomposición de los fertilizantes son responsables del 60 % de las emisiones directas de la agricultura, lo que se traduce en aproximadamente el 10 % de las emisiones mundiales de GEI (Searchinger et al., 2019). Existen técnicas para reducir las emisiones, como la disminución del uso de fertilizantes, la rotación de cultivos y el cambio de la alimentación de los rumiantes, pero deben aprenderse y aplicarse, por lo que se necesitan incentivos para su aplicación (ibid).

Beneficios



Mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes para reducir el uso total de los mismos sin reducir los rendimientos puede conllevar varios beneficios. Reduce los costes de los agricultores y, potencialmente, la necesidad de importar componentes de los fertilizantes. Disminuye la contaminación local del suelo, así como la contaminación del agua y la eutrofización de las fuentes de agua locales y aguas abajo (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2021a). Al mejorar la productividad agrícola, se puede reducir el uso de riego y tierra, esto último, a su vez, permite una menor deforestación, que, a su vez, puede generar impactos positivos sobre la biodiversidad (Mohammad y Adam, 2010; Khaleghi, 2017) y la absorción de carbono. El desarrollo de capacidades de los agricultores, por ejemplo, en lo que respecta a la rotación de cultivos, puede mejorar los conocimientos agrícolas y hacer que los agricultores sean más resilientes a los impactos del cambio climático, como las sequías.

Barreras



A menudo, los agricultores carecen de la capacidad para cambiar sus métodos agrícolas tradicionales (Piñeiro et al., 2020). Muchos agricultores operan en un modo de subsistencia de baja productividad u otros modos de baja productividad, y hay una falta de capacidad e información para modernizar las prácticas agrícolas (PNUMA, 2021a).

Los esquemas de subsidios tradicionales, centrados en el aumento de la producción y la competitividad, incentivan la sobreproducción y el uso excesivo de insumos, incluidos los fertilizantes (FAO et al., 2021). Los Gobiernos de todo el mundo gastan alrededor de 540 000 millones de dólares al año en apoyar a los productores agrícolas, principalmente en forma de subsidios, pero el 87 % de ese apoyo es ineficiente, inequitativo, promueve la mala salud y degrada el medioambiente (ibid.). Por ejemplo, la mayor parte de las ayudas que se entregan por medio de incentivos a los precios promueven globalmente la producción de carne de vacuno, leche y arroz, que son la principal causa de las emisiones de metano y de la deforestación (ibid). En América Latina y el Caribe existen diversos esquemas de subsidios agrícolas, como el apoyo financiero para la compra de semillas o fertilizantes, que crean retos similares a los de la escala mundial (BID, 2017, 2018).

Intervenciones del gobierno



Los Gobiernos pueden utilizar los programas de capacitación agrícola para mejorar la información y la capacidad de los agricultores en torno a las prácticas agrícolas de bajas emisiones de GEI (Piñeiro et al., 2020). También deben abarcar las técnicas necesarias para utilizar materia orgánica en sustitución de los fertilizantes sintéticos, proporcionando a los agricultores conocimientos especializados sobre la agricultura climática inteligente y la gestión integrada de los aspectos ecológicos, sociales y económicos. Esto suele requerir que los agricultores tengan acceso a la educación en técnicas de agricultura híbrida, gestión de animales, así como a otros tipos de tierra, cultivos y programas de educación (PNUMA, 2021a).

Las normativas pueden respaldar la adopción de prácticas de bajo nivel de GEI en la agricultura, imponer normas de calidad del suelo y ayudar a establecer objetivos y hojas de ruta para la reducción de los fertilizantes (PNUMA, 2021a). Los mandatos pueden establecer requisitos de infraestructura (por ejemplo, instalar equipos para capturar y destruir el metano en los establos de las vacas). Los reglamentos también pueden promover los ciclos de rotación para un uso más equilibrado de la capacidad de producción del suelo (FAO, 2017b).

Los gobiernos pueden utilizar incentivos financieros para promover prácticas agrícolas de bajos niveles de GEI. Los paquetes de políticas que incluyen beneficios financieros para los agricultores muestran mayores tasas de adopción en comparación con las políticas que solo se enfocan en las mejoras ambientales (Piñeiro et al., 2020). El Gobierno puede subsidiar tecnologías como los filtros de metano, las instalaciones de almacenamiento y refrigeración, y la maquinaria agrícola; además, puede integrar subsidios o beneficios fiscales para fomentar la agricultura sostenible, como la inclusión de la generación de electricidad descentralizada en las fincas utilizando el metano capturado. Los Gobiernos también pueden apoyar la investigación y la innovación (p. ej., a través de becas de investigación) para promover tecnologías y buenas prácticas agrícolas relevantes y efectivas a escala local. Por último, los subsidios a los fertilizantes sintéticos basados en combustibles fósiles pueden reducirse de manera gradual y, eventualmente, eliminarse, mientras que puede fomentarse el uso de fertilizantes fabricados con hidrógeno verde y calor de bajas emisiones (Transformación 13), pero esto requiere prestar atención a los impactos sociales y económicos y, posiblemente, utilizar mecanismos de compensación.

Transformación 7

Perseguir la conservación de los bosques y otros ecosistemas con alto contenido de carbono y la restauración de las tierras de cultivo

La transformación

Los esfuerzos de conservación preservan los sumideros de carbono naturales, y la restauración de las tierras de cultivo a través del rewilding (recuperación de la naturaleza), crea un almacenamiento adicional de carbono. Los bosques de crecimiento medio y antiguo proporcionan grandes sumideros de carbono y hábitats para la conservación de la biodiversidad (FAO y PNUMA, 2020). Las denominadas soluciones basadas en la naturaleza pueden contribuir a una reducción de emisiones de entre 5 y 12 GtCO₂eq para 2030 a través de prácticas de protección, restauración y gestión sostenible. De este potencial de mitigación, casi dos tercios se atribuyen a los bosques, un cuarto a pastizales y tierras de cultivo, un décimo a turberas y el resto a zonas costeras y marítimas (PNUMA y UINC, 2021).

Según las NDC de los países, los sumideros de carbono creados por la conservación y restauración de los bosques y la restauración de las tierras de cultivo contribuirán aproximadamente al 25 % de la reducción total de las emisiones en volumen (Grassi et al., 2017).

Beneficios



Los bosques como el Amazonas son esenciales para la preservación de la biodiversidad y desempeñan un papel central en el mantenimiento funcional de los ecosistemas, de los que dependen en última instancia la mayoría de las actividades económicas (IPBES, 2019). Evitar que la Amazonía alcance un punto de inflexión (basado en un ciclo hidrológico autogenerado relacionado con el tamaño), a partir de los servicios ecosistémicos de almacenamiento de carbono, la mitigación de la erosión, el suministro y purificación del agua, salvaguardaría un valor del PIB equivalente a 184 100 millones de dólares en el caso de Brasil (Banerjee et al., 2021). El valor económico de los bosques a escala mundial está estimado en 50-150 billones de dólares (BCG, 2020). La conservación de los bosques brinda muchos beneficios a los ecosistemas, entre los que se incluyen la moderación de la temperatura del microclima, la absorción de lluvia y el control de las inundaciones durante eventos climáticos significativos, y la prevención de la escorrentía irremplazable del suelo (Costanza et al., 2014). Los estudios sobre la escorrentía del suelo muestran que, en las áreas deforestadas, la escorrentía fue aproximadamente entre un 60 % y 100 % mayor que en áreas comparables con cobertura forestal (Mohammad y Adam, 2010; Khaleghi, 2017). Una menor escorrentía del suelo también contribuye a la protección del agua limpia, además de estabilizar los climas regionales, como en la región amazónica, y afecta a la productividad, especialmente en el sector agrícola (UINC, 2021b). Esta transformación también resulta fundamental para mantener y aumentar los hábitats para la conservación de la biodiversidad (FAO y PNUMA, 2020). La gestión activa de las áreas protegidas y los esfuerzos para fomentar los usos múltiples de los bosques existentes también pueden permitir la generación de ingresos significativos para las comunidades indígenas y de subsistencia, que actualmente gestionan aproximadamente el 28 % de la tierra utilizada a escala mundial (Garnett et al., 2018).

Barreras



La expansión agrícola causada por el aumento de la demanda de alimentos intensivos en el uso de la tierra, como la carne de vacuno, es la principal causa de la deforestación, especialmente en América Latina y el Caribe, donde aproximadamente el 80 % de la deforestación de los bosques tropicales está vinculada a la expansión agrícola (FAO y PNUMA, 2020; Dummett, Cassie, et al., 2021). Esta barrera se analiza más adelante en la Transformación 8.

Las tierras forestales y otros ecosistemas con alto contenido de carbono no suelen estar adecuadamente protegidos; por lo mismo, la deforestación para el pastoreo u otros fines agrícolas se convierten en abusos sin penalización. Si están protegidos, a menudo se carece de mecanismos concretos de aplicación (Rochedo et al., 2018). La ausencia o la inadecuada gestión y aplicación de los títulos de propiedad incentivan la valoración a corto plazo de la tierra y los bosques (FAO y PNUMA, 2020).

Los Gobiernos a menudo carecen de acceso a la información sobre la deforestación, lo que perjudica su capacidad para aplicar eficazmente su prevención. Además, la información asimétrica sobre los beneficios monetarios de las áreas forestales ralentiza los esfuerzos de protección. Los Gobiernos suelen carecer de capacidad para evaluar el beneficio económico de los ecosistemas, mientras que los actores con ánimo de lucro, como el sector privado, valoran claramente las zonas deforestadas en función de la venta de madera y de las prácticas agrícolas que maximizan sus beneficios.

En muchas regiones, hay una ausencia total de gestión de incendios, que debe equilibrarse con algunos ciclos naturales que requieren incendios regulares y más frescos que son esenciales para la regeneración de algunas especies y la salud del suelo. En todo el mundo, más de 100 millones de hectáreas de árboles (el 0,2 % de los 44 000 millones de hectáreas actualmente cubiertas por árboles) se ven afectadas por los incendios forestales cada año, y más de dos tercios se queman en América del Sur y África (FAO y PNUMA, 2020). Entre 1997 y 2016, en América Latina y el Caribe, se emitieron en promedio 0,36 GtCO₂ a causa de los incendios, de los cuales más del 90 % se atribuyen a incendios forestales (Van Der Werf et al., 2017).

Intervenciones del gobierno



La normativa sobre el uso de las tierras de cultivo puede actualizarse con un enfoque más fuerte en la conservación, al minimizar la expansión agrícola para los productos de alta huella de carbono como la carne de vacuno, y para la agricultura de subsistencia de tala y quema. Del mismo modo, la reglamentación puede desalentar la deforestación de nuevas tierras agrícolas o de pastoreo (p. ej., mediante el pago o la imposición de impuestos por deforestación, o su prohibición, y una penalización más fuerte para la deforestación no autorizada). Los Gobiernos también pueden expandir las áreas protegidas existentes o



crear otras nuevas, disminuyendo esencialmente las actividades agrícolas y extractivas en estas áreas (PNUMA-WCMC y UINC 2020). Se pueden ofrecer pagos por servicios ambientales y ecosistémicos para desalentar la deforestación y crear otras fuentes de ingresos sostenibles para las comunidades locales (Alpizar et al., 2020).

Es necesario reforzar la aplicación de la ley. Por ejemplo, los Gobiernos pueden formar a los funcionarios y luchar contra la corrupción (FAO y PNUMA, 2020). La gestión y la aplicación de los títulos de propiedad de la tierra deben adaptarse a las condiciones locales, especialmente en los lugares donde las comunidades indígenas y de subsistencia que utilizan los bosques en pie para obtener ingresos carecen de títulos formales. En Costa Rica, por ejemplo, los propietarios de tierras que carecen de títulos formales pueden proporcionar otros tipos de pruebas o utilizar pagos anticipados basados en el rendimiento futuro para iniciar el proceso de obtención de títulos oficiales de propiedad (FAO y PNUMA, 2020). Además, se pueden establecer sistemas de certificación para formalizar la protección de los bosques.

El desarrollo de capacidades para los agricultores puede centrarse en mejorar el rendimiento por unidad de aumento y adoptar prácticas de gestión del riesgo de incendios (FAO, 2009). Los Gobiernos también pueden apoyar la capacitación para coordinar y alinear las prácticas agrícolas, la gestión integrada de los recursos hídricos (p. ej., centrándose en el uso del agua y la eficiencia en su uso), y la protección y restauración de los ecosistemas (PNUMA, 2021b).

Las políticas deben basarse en un sistema funcional de medición, notificación y verificación. Los Gobiernos pueden aumentar su capacidad de monitoreo y gestión de los bosques y áreas de conservación para mejorar la detección de incendios y cambios ilegales en el uso de la tierra. Tecnologías como los drones y el software para la gestión del capital natural pueden reducir drásticamente los costes de medición, notificación y verificación (FAO, 2018). Es necesario introducir la prevención y la gestión de incendios y dotarlas con los recursos adecuados (FAO y PNUMA, 2020). Lo ideal es que las comunidades locales puedan ser financiadas y recompensadas por la gestión de incendios, lo que se corresponde con la recolección de biomasa muerta para combustible para reducir la carga potencial de combustible de los incendios forestales locales.

Transformación 8

Adoptar dietas saludables
que reducen la huella de carbono de los alimentos



La transformación

La producción de carne de vacuno y productos lácteos son los principales impulsores de las emisiones de GEI dentro de la industria de producción de alimentos. Por ejemplo, mientras que el maíz y el trigo generan menos de 30 kgCO₂e por kg de proteína, el consumo de carne de vacuno emite 1250 kgCO₂e, la leche de vaca 260 kgCO₂e, la carne de cerdo 150 kgCO₂e y las aves de corral 110 kgCO₂e (Searchinger et al., 2018). La carne de vacuno y los productos lácteos son los principales contribuyentes a la deforestación mundial, ya que utilizan el 77 % de la tierra cultivable a escala mundial (Searchinger et al., 2018). Por ejemplo, el consumo de carne de vacuno en Estados Unidos, aunque tan solo aporta el 3 % de la ingesta calórica, representa aproximadamente el 50 % del uso de la tierra y de las emisiones relacionadas con la producción de alimentos (Searchinger et al., 2019).

En América Latina y el Caribe, las dietas y los niveles de nutrición son muy heterogéneos. La región alberga los países con el mayor consumo de carne de vacuno per cápita del mundo, donde se consume tres veces más vacuno por día que en Europa y 50 % más que en Estados Unidos y Canadá, así como países en los que la pobreza se traduce en inseguridad alimentaria y niveles inadecuados de ingesta de proteínas animales (Dumas et al.; BID, 2019). En promedio en la región, el consumo de carne de vacuno es responsable del 55 % de las emisiones procedentes de la agricultura y del 60 % de las emisiones procedentes del cambio de uso de la tierra, mientras que solo aporta el 4 % de la ingesta de calorías y el 12 % de la de proteínas (ibid). Al mismo tiempo, la prevalencia de la inseguridad alimentaria en la región es muy alta, ya que se sitúa en más del 75 % (Benites-Zapata et al, 2021).

El objetivo de esta transformación es mejorar los resultados de salud eligiendo dietas que sean a la vez nutritivas y tengan un bajo impacto en las emisiones de GEI y en el cambio del uso de la tierra. Reducir el consumo de carne de vacuno en un 50 % puede disminuir las emisiones de GEI de la producción y el cambio en el uso de la tierra en un 30 %. Pasar a una dieta «sin carne de vacuno ni lácteos» (pero seguir consumiendo carne de aves de corral y cerdo) reduce la presión sobre la deforestación en un 66 % en comparación con la línea de base actual (Searchinger et al., 2018), y puede reducir aún más el uso del agua y disminuir su riesgo de escasez, ya que la producción de productos animales representa aproximadamente el 25 % del uso mundial de agua dulce (la llamada huella hídrica mundial) (Gerbens-Leenes et al., 2013).

Beneficios



Las dietas bajas en carne o basadas en plantas pueden mejorar la salud al reducir la obesidad y las enfermedades graves, como las enfermedades cardiovasculares, el cáncer colorrectal y la diabetes de tipo 2 (Battaglia Richi et al., 2015). Por ejemplo, una dieta vegetariana reduce el riesgo relativo de desarrollar diabetes de tipo 2 en un 40 % en comparación con la dieta omnívora en los países occidentales desarrollados (Tilman y Clark, 2014). En consecuencia, el gasto fiscal en el sistema sanitario puede verse influido positivamente por este desarrollo.



En América Latina y el Caribe, esto es especialmente relevante, pues en la actualidad la población no lleva una dieta saludable, sino una deficiente en consumo de frutas, verduras, fibra, cereales integrales y excesiva en carnes rojas o procesadas (BID, 2019).

Por un lado, las dietas basadas en plantas reducen la necesidad de agua en la agricultura, protegiendo así los niveles naturales de agua y disminuyendo su escasez en las zonas secas. La producción de carne de vacuno requiere significativamente más agua, con 15 000 litros/kg de carne en comparación con 5874 litros/kg de las lentejas o 287 litros/kg de las patatas (Mekonnen y Gerbens-Leenes, 2020). Limitar las dietas globales a un 25 % de la ingesta de proteína animal supondría un ahorro de agua de entre el 11 % y el 18 % (Jalava et al., 2016).

Por otro lado, las dietas a base de plantas reducen la demanda de carne y, por lo tanto, contribuyen a reducir la necesidad de la cría industrial de animales, a veces es considerada como poco ética e inhumana (Comisión Europea, 2021).

Barreras



Los subsidios agrícolas incentivan la producción de carne y productos lácteos. En 2013, solo los países de la OCDE gastaron 53 000 millones de dólares en subsidios a la ganadería y China 22 000 millones de dólares en subsidios a la carne de cerdo (Froggatt et al., 2014). El apoyo financiero global total a los productores agrícolas asciende a 540 000 millones de USD, siendo la carne de vacuno y los productos lácteos los más subsidiados, junto con el arroz (FAO, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], and PNUMA, 2021).

La falta de información (por ejemplo, a través del etiquetado de los alimentos) sesga la toma de decisiones del consumidor hacia la carne y los productos lácteos (Shangguan et al., 2019), ya que a menudo, los consumidores no suelen conocer los detalles nutricionales y los impactos que tienen en la salud las diferentes dietas (BID, 2019).

Los productos animales están fuertemente integrados en las culturas de la mayoría de las personas, en la dieta y la cocina local y regional (Bryant, 2020), lo que crea un efecto de bloqueo difícil de cambiar a favor del consumo de productos animales.

Intervenciones del gobierno



Es necesario evaluar la gran cantidad de dinero destinada a los subsidios agrícolas y redefinir su propósito. Los Gobiernos deben asegurarse de crear transparencia sobre los flujos financieros actuales. Sobre la base de esta transparencia, se pueden definir elementos estratégicos dentro de la cadena de valor agrícola para contribuir a la reducción de la carne de vacuno y los productos lácteos, incluyendo la innovación de las



dietas basadas en plantas y la promoción de dietas centradas en verduras o carnes animales menos intensivas en GEI (FAO, PNUD, y PNUMA, 2021).

Los Gobiernos pueden utilizar campañas informativas y normativas para promover dietas más saludables y con menos emisiones de carbono. Estos esfuerzos pueden incluir un enfoque en la creación de conciencia de los consumidores. El consumo de alimentos puede situarse en un panorama más amplio, relacionado con el impacto que tiene en nuestra vida diaria (es decir, económica, social y ecológicamente). Las campañas de información (por ejemplo, en los supermercados o puntos de venta) podrían ayudar a fomentar esta concienciación. Esto incluye el etiquetado intuitivo de los alimentos (p. ej., mediante el uso de códigos de colores) para la información del valor nutricional y el impacto ambiental (p. ej., emisiones de GEI) (Shangguan et al., 2019).

Las regulaciones pueden ayudar a cambiar las normas sociales y normalizar las dietas basadas en plantas o con un menor consumo de carne. Esto puede hacerse al recortar la adquisición de carne de vacuno en las guarderías y escuelas públicas o designando comidas o días vegetarianos en las cafeterías de las oficinas (Searchinger et al., 2019). Aumentar la comodidad al manipular y cocinar con verduras (por ejemplo, a través de una amplia difusión de clases de cocina en las escuelas) también contribuye a este objetivo (Fresán et al., 2020).

Los incentivos financieros pueden contribuir a cambiar las dietas. La reforma de los subsidios agrícolas podría dar lugar a un aumento de los precios de la carne y los productos lácteos y, por lo tanto, crear incentivos para una sustitución por dietas menos costosas basadas en plantas o carnes menos intensivas en GEI (Froggatt et al., 2014). Sin embargo, los cambios en los precios al consumidor pueden ser políticamente difíciles, como lo ha demostrado muchas veces la experiencia con los subsidios a los combustibles fósiles (Parry et al., 2021). Por lo tanto, es fundamental preparar con mucho cuidado las políticas que afectan el precio de los alimentos, asegurándose que los consumidores entiendan la reforma y estén de acuerdo con ella, y que los actores más afectados sean compensados (Vogt-Schilb et al., 2019). De manera más general, los Gobiernos pueden evaluar el impacto que las políticas de apoyo tienen sobre los diferentes alimentos, y diseñar esquemas de apoyo gubernamental de manera que favorezcan la producción de artículos consistentes con dietas saludables que tengan un bajo impacto en las emisiones.



Edificios

A escala mundial, las emisiones directas de los edificios —sin tener en cuenta las emisiones indirectas debidas a la producción de electricidad y calor— representan el 6 % de las emisiones de GEI (Lamb, 2021). Las emisiones indirectas derivadas de la producción de calor y electricidad fuera de las instalaciones aumentan las emisiones de los edificios al 17 % del total de las emisiones de GEI (ibid). En América Latina y el Caribe, los edificios representan entre el 5 % y el 15 % de las emisiones directas de CO₂ (es decir, para la calefacción y la cocina) y la mitad de la electricidad utilizada (Bataille et al., 2020; IEA, 2020a). En la región, las emisiones de los combustibles fósiles en los edificios están aumentando con la transición en curso de los biocombustibles a los combustibles comerciales, a pesar de los beneficios sustanciales para la salud del aire interior asociados al abandono de los biocombustibles tradicionales. Las emisiones contenidas en materiales de construcción como el acero y el cemento son aproximadamente iguales a las emisiones de la combustión directa (Röck et al., 2020; IEA, 2019a), que se abordan en la Transformación 13.

Para 2050, se estima que el valor de las inversiones adicionales necesarias a escala mundial para mejorar los edificios existentes y crear otros nuevos que sean consistentes con un límite de aumento de la temperatura de dos grados sea de 12 billones de USD. Sin embargo, estos costes se verán más que compensados por el ahorro de combustible. En el caso de América Latina y el Caribe, se estima que el ahorro de combustible excederá las inversiones en 90 000 de USD millones para 2050 (IEA, 2013b).

Todos los edificios pueden considerarse como sistemas integrados, con estructura, envoltura y componentes de energía y agua diseñados para proporcionar un nivel determinado de calefacción, refrigeración, suministro de agua y energía a sus ocupantes (IEA, 2013a). Los sistemas de transformación y las adaptaciones de la estructura son a menudo posibles, pero también costosas, por lo que en ocasiones puede ser más barato reconstruir el edificio en torno a nuevos objetivos de bajas emisiones y mejorar al mismo tiempo el bienestar de los residentes. Todas las intervenciones para reducir los GEI pueden beneficiarse si se inician con esta compensación en mente.

Al explorar las transformaciones 9, 10 y 11, también hay que considerar el lado de la demanda de la ecuación. El aumento de los ingresos puede llevar a la demanda de viviendas más grandes con la expansión urbana, que quizás haya evolucionado en su mayor medida en América del Norte. La electrificación total de todos los transportes nuevos y reacondicionados, y los edificios de alta eficiencia pueden compensar los GEI, pero el uso de la energía aumentará y deberá ser suministrada. Si los GEI no se limitan totalmente para las nuevas construcciones, por ejemplo, con normativas de cero emisiones para 2030 tal como lo sugiere la IEA (2021d), el resultado podría ser una reducción neta de GEI menor de lo que cabría esperar de las intervenciones del lado de la oferta.

Transformación 9

Conseguir la mayor eficiencia energética posible para la estructura de edificios y aparatos



La transformación

Mejorar la eficiencia energética en todos los edificios residenciales, comerciales e institucionales reduce directamente la cantidad de energía necesaria de cualquier tipo, e históricamente, durante varias décadas ha reducido las emisiones en al menos un 2 % por año a escala mundial (IEA, 2020c). La mejora de la eficiencia energética de los edificios es fundamental para cumplir los objetivos climáticos globales, ya que ayuda a limitar la producción necesaria de electricidad limpia para respaldar la electrificación (IEA, 2021d; IRENA, 2021). Será necesario duplicar las renovaciones de edificios de su tasa actual del 1 % anual a un 2 %, teniendo en cuenta que más del 50 % del parque inmobiliario mundial actual seguirá en pie para 2050 (IEA, 2013b).

La IEA determinó que para lograr cero emisiones netas a escala mundial para 2050, todas las construcciones nuevas deberían estar listas para producir cero emisiones netas de carbono para 2030, y que se deben realizar remodelaciones en la mayoría de los edificios para 2050 para que puedan cumplir con los códigos de energía de cero emisiones de carbono. (IEA, 2021d). Por lo tanto, esta transformación se centra en construir edificios y desarrollar aparatos de alta eficiencia.

Beneficios



Las estructuras y aparatos más eficientes utilizan menos energía y, por lo tanto, su funcionamiento es menos costoso y puede mejorar la calidad de vida de sus ocupantes debido a la moderación de las temperaturas, el aislamiento acústico y la modernización de los aparatos y la infraestructura del edificio (Ibid; IEA, 2013). Además, el aumento de la eficiencia energética de los edificios reduce la necesidad de inversiones en infraestructura adicional de suministro y distribución de energía (IEA, 2013b).

Barreras



Muchos factores impiden la adopción de edificios energéticamente eficientes (IEA, 2013a, 2020d). Los edificios más eficientes tienden a ser más baratos de mantener durante su vida útil; sin embargo, los costes iniciales de capital son más altos y existe un riesgo de deterioro, destrucción u obsolescencia antes de que se amorticen los costes adicionales. La cuestión del consumo de energía puede carecer de relevancia, ya que las facturas de energía son a menudo solo una pequeña parte del valor del edificio —mucho menor que el valor proporcionado por la ubicación y la capacidad de servicio—. En 2020, a escala mundial, los subsidios distorsionantes de la energía de los combustibles fósiles ascendieron a casi 6 billones de dólares (FMI, 2022). Estos subsidios desdibujan los costes reales de la energía y, por lo tanto, disminuyen los incentivos para invertir en eficiencia energética (Espa y Rolland, 2015). Los problemas de las agencias duales también tienen



un papel que desempeñar, ya que los costes de alquiler o renovación de edificios arrendados se imponen a los propietarios, mientras que los ahorros recaen en el ocupante u operador que paga las facturas de energía.

Por último, no siempre los propietarios y ocupantes de edificios tienen claro por qué es importante la eficiencia y por qué deberían gastar su limitado capital y atención en ella. La débil normativa de eficiencia energética en los códigos de construcción y la falta de aplicación de la regulación existente disminuye el incentivo para invertir en acciones de eficiencia (IEA, 2017).

Intervenciones del gobierno



La principal medida de eficiencia energética para los edificios a escala mundial es la mejora del aislamiento de la envolvente (IEA, 2013a, 2021e). Otras medidas de eficiencia energética están relacionadas con los sistemas de producción de agua caliente, calefacción y refrigeración. Las características de diseño, como la orientación del edificio para maximizar o evitar la exposición a la luz solar, el voladizo de las ventanas, el tamaño, el reverdecimiento o blanqueamiento del tejado para absorber el calor, la circulación natural del aire para reducir la necesidad de aire acondicionado y la ubicación, también pueden contribuir a reducir las cargas de calefacción, refrigeración e iluminación.

Las normativas gubernamentales pueden exigir estructuras de alta eficiencia para nuevas construcciones o propiedades en venta, anunciando los objetivos con años de antelación; esto involucra a la cadena de suministro de los edificios y ayuda a generar economías de escala (IEA, 2013a). Los Gobiernos también pueden liderar, establecer expectativas y generar economías de escala al exigir la construcción de alta eficiencia para los nuevos edificios gubernamentales y modernizar su propio parque (IEA y FMI, 2020).

Los Gobiernos pueden utilizar incentivos financieros para abordar los costes de capital inicial más elevados de estructuras y aparatos más eficientes (Ibid; IEA, 2013), ya que normalmente pueden pedir prestado capital a un coste de un tercio o menos del de los intereses de los hogares, cambiando drásticamente los costes de capital inicial y amortizado de los proyectos de larga duración. Además, pueden ofrecer garantías de préstamos a inversores privados para limitar el impacto fiscal directo. Estos incluyen préstamos a tasas de interés subsidiadas, subsidios de renovación, beneficios fiscales y modelos de pago por ahorro pay-as-you-save (PAYS, por sus siglas en inglés). Estos mecanismos tienen sentido en los países donde los Gobiernos disfrutan de costes de endeudamiento más bajos que los consumidores. Los gobiernos pueden financiar estos esquemas con bonos verdes o vinculados a la sostenibilidad.



Los problemas de incentivos divididos pueden abordarse mediante el uso de instrumentos financieros que vinculen el reembolso del capital prestado a la propiedad en lugar de a los propietarios actuales como, por ejemplo, a través de la amortización del préstamo reembolsado a través de los impuestos sobre la propiedad específica del lugar (IEA, 2019).

Finalmente, el aumento de la información y la transparencia puede permitir el ahorro de emisiones en los edificios. La certificación de los aparatos y edificios con bajas o cero emisiones de carbono puede brindar transparencia a los inquilinos e inversores, lo que permite que el valor mejorado de la propiedad sea visto por los potenciales nuevos compradores e inquilinos —quienes pagarán las facturas de energía—. Los estudios de casos han demostrado que la entrega de informes de energía a los hogares, diseñados de acuerdo con los conocimientos de la economía del comportamiento, puede incentivar a los inquilinos a utilizar la energía de una forma más sostenible (WRI, 2022a).

Transformación 10

Electrificar los aparatos de los edificios



La transformación

Todos los usos principales de los combustibles fósiles en los edificios pueden electrificarse con la tecnología existente (Williams et al., 2012b, 2021; Bataille et al., 2016; IEA, 2021b; IRENA, 2021). La electrificación tiene sentido incluso si la red utiliza actualmente combustibles fósiles, en el contexto de una transición de décadas hacia un sistema de energía con cero emisiones netas que actúe en paralelo sobre la oferta y la demanda de energía (Audoly et al., 2018). La demanda de calefacción y refrigeración puede satisfacerse con bombas de calor, que son, de lejos, la tecnología de mayor eficiencia energética para proporcionar calefacción, ya que normalmente consume de 2 a 4 veces menos energía que la calefacción por resistencia eléctrica simple o los combustibles fósiles eficientes para el mismo resultado y funciona en una amplia gama de condiciones climáticas (IEA, 2022b, 2019b, 2020d). La demanda de agua caliente puede electrificarse completamente mediante una combinación de energía solar pasiva, bombas de calor y calefacción de resistencia directa. Además, se puede cocinar con placas de resistencias eléctricas o cocinas de inducción, o con electrodomésticos como ollas a presión eléctricas, incluso en lugares ubicados fuera de la red (World Bank Group et al., 2020). Los edificios antiguos que dependen del gas fósil pueden alimentarse con biometano hasta que se reemplacen o se modernicen.

Beneficios



La electrificación de la calefacción y la cocina aporta ganancias de eficiencia energética, ya que, por ejemplo, las bombas de calor son 3 o 4 veces más eficientes que las calderas de gas; lo que reduce aún más la contaminación del aire interior. Por ejemplo, puede ayudar a evitar las 173 000 - 233 000 muertes prematuras que se producen debido a la contaminación del aire local en América Latina, relacionadas principalmente con el uso de biomasa (Banco Mundial e IHME, 2016; Statista, 2019). La electrificación también puede reducir la contaminación del aire interior cuando se utiliza para reemplazar las estufas de gas. Aunque, en general, las estufas de gas son significativamente mejores que la biomasa tradicional, también liberan contaminantes que pueden tener efectos negativos para la salud, lo que a menudo exacerba condiciones respiratorias como el asma, especialmente en los niños (RMI, 2020).

Por último, la electrificación de la calefacción, la refrigeración y la cocina generalmente conduce a unos costes actuales de energía más bajos y a unos precios de energía más estables, especialmente una vez que el suministro de electricidad se ha convertido en gran medida a energía eólica y solar; (véase transformación 1, 2 y 11) (IEA 2020d, 2021d).

Barreras



Al igual que en el caso de la eficiencia de las estructuras y los electrodomésticos en la Transformación 9, el reto fundamental es el coste de capital que supone la sustitución de los actuales hornos, sistemas de agua caliente y estufas alimentados con combustibles fósiles por alternativas libres de carbono, así como el hecho de que la mayoría de los edificios existentes no se construyeron para utilizar estas soluciones (por ejemplo, con un cableado eléctrico y una capacidad del sistema lo suficientemente fuertes) (IEA, 2013a; IRENA y China State Grid Co., 2019). Un gran aumento de la demanda, como el que se observa actualmente para las bombas de calor, crea barreras temporales en las cadenas de suministro y la capacidad de instalación de los aparatos. El desconocimiento de las opciones eléctricas también es una barrera en algunos mercados. Además, las bombas de calor son más eficaces en las estructuras de los edificios de alta eficiencia porque proporcionan cambios lentos pero constantes en la calefacción y la refrigeración, por lo que la eficiencia de la estructura debe abordarse en paralelo (IEA, 2013a) (ver Transformación 9). Además, las señales de precios pueden ser contraproducentes. En algunos países, la electricidad está más gravada que los combustibles fósiles como el gas natural. A veces, el gas natural está subsidiado o se beneficia de exenciones fiscales mientras que la electricidad está sujeta a impuestos. Las barreras culturales que impiden el cambio a aparatos eléctricos pueden retrasar la implementación de esta transformación.

Intervenciones del gobierno



Los mandatos pueden apoyar la electrificación de los usos energéticos en los edificios (IEA, 2021). El Gobierno puede prohibir las nuevas conexiones de gas metano y exigir la provisión de electricidad de todos los servicios en edificios nuevos, con suficiente capacidad de paneles y cableado (IEA, 2013a, 2021d). Las mismas ayudas financieras (es decir, préstamos a bajo interés, subsidios e incentivos fiscales) expuestos en la Transformación 9 pueden aplicarse para la pronta sustitución de aparatos basados en combustibles fósiles por aparatos eléctricos, como estufas de inducción o bombas de calor. Una vez más, los Gobiernos pueden ayudar a desarrollar la industria y las economías de escala comenzando con su propio parque de edificios (IEA y FMI, 2020). Las reformas de los precios pueden ayudar a que la electricidad sea más atractiva como combustible que las alternativas de combustibles fósiles (Transformaciones 1 y 2).

Crear conciencia en el consumidor sobre la electrificación de los aparatos, su uso y sus beneficios a través de comunicación dirigida a grupos focales, campañas de concienciación y otras acciones informativas pueden acelerar la aceptación cultural de los aparatos electrificados.

Transformación 11

Desplegar la generación de electricidad solar y agua caliente en los edificios



La transformación

Los edificios brindan varias oportunidades para instalar la generación descentralizada de electricidad solar y de agua caliente en las azoteas, los aparcamientos cubiertos o, en entornos más innovadores, las paredes o las ventanas (IEA, 2021b; IRENA, 2021). Esto ayuda a cubrir la demanda de electricidad creada en el edificio y reduce la necesidad de nuevas mejoras en la transmisión. El agua caliente solar, que ya es común en América Latina, también presenta una oportunidad para el almacenamiento de energía.

Beneficios



La construcción de dispositivos de autogeneración, aunque es más costosa que la generación de electricidad por parte de las empresas de servicios públicos, reduce drásticamente la necesidad de nuevas líneas de transmisión, que pueden ser difíciles de aprobar y ubicar, y que puede ayudar a los edificios con aire acondicionado a satisfacer el pico máximo de su carga de enfriamiento, que aumentara a medida que avance el cambio climático. Con algo de almacenamiento, también mejora la seguridad energética en caso de interrupción del suministro de energía. Cuando se implementa con tecnologías de redes inteligentes, la autogeneración también puede proporcionar una mejor distribución de energía a través del almacenamiento de electricidad detrás del medidor o utilidades locales y la gestión de «líneas eléctricas virtuales», donde la generación distribuida se almacena temporalmente hasta que la transmisión esté disponible (IRENA, 2020b, e; IRENA y OIT, 2021).

Barreras



Al igual que en el caso de la eficiencia de la estructura y los aparatos en la Transformación 9, y la electrificación en la Transformación 10, el desafío fundamental es el coste de capital de instalación de la energía solar fotovoltaica y la generación pasiva o térmica de agua caliente en edificios como una readaptación, y el hecho de que la mayoría de los edificios existentes no se construyeron para utilizarlos (por ejemplo, con suficiente área de exposición a la luz solar, estanterías, capacidad y cableado eléctrico, fontanería y la aprobación del gobierno local y de la empresa de servicios públicos para realizar el proyecto) (IEA, 2013a; IRENA y China State Grid Co., 2019). Los múltiples niveles de gobernanza local y la aprobación de las empresas de servicios públicos para la conexión también pueden obstaculizar la adopción de la autogeneración; en algunos casos extremos, en los primeros mercados de Estados Unidos, el flujo de retorno de la energía solar residencial abrumó el sistema de servicios públicos nacionales, que no estaba preparado para su rápida adaptación. La falta de conocimiento de las opciones es también una barrera en algunos mercados, por lo que la eficiencia de la estructura debe abordarse en paralelo (IEA, 2013a) (véase Transformación 9).

Intervenciones del gobierno



Las intervenciones del Gobierno deben centrarse en los costes de capital iniciales mediante del acceso a capital de bajo interés y el apoyo a la formación de una industria para suministrar equipos de autogeneración (por ejemplo, a través de contrataciones ecológicas para edificios gubernamentales) (IEA y FMI, 2020). Los mandatos para las nuevas construcciones pueden apoyar la electrificación de los usos de la energía en los edificios, como se solicita en el informe Netzero de la IEA (2021). Sin embargo, esto tiene que complementarse con procesos rápidos y de «ventanilla única» para su aprobación y conexión por parte de los Gobiernos locales y las empresas de servicios públicos. Los Gobiernos también pueden prohibir las nuevas conexiones de gas metano y exigir el suministro eléctrico de todos los servicios en edificios nuevos (IEA, 2013a, 2021d). Los mismos apoyos financieros (es decir, préstamos a bajo interés, subsidios e incentivos fiscales) analizados en la Transformación 9 pueden aplicarse a la pronta sustitución de aparatos basados en combustibles fósiles por aparatos electrificados, como las estufas de inducción o las bombas de calor. De nuevo, los Gobiernos pueden ayudar a construir la industria y las economías de escala comenzando con su propio parque de edificios (IEA y FMI, 2020). Las reformas de los precios pueden ayudar a que la electricidad sea más atractiva como combustible que las alternativas de combustibles fósiles (Transformaciones 1 y 2).



Industria

A escala mundial, el sector industrial emite el 24 % de las emisiones totales de CO₂ procedentes de la quema de combustibles y de los procesos industriales (Minx et al., 2021; Lamb et al., 2021). Esto corresponde al 22 % del total de GEI. La industria se compone de muchos sectores distintos con procesos químicos altamente específicos que actualmente emiten GEI, como los del acero, el cemento y los productos químicos, así como necesidades genéricas para procesar el calor a temperaturas ampliamente variables entre los 50 y 1600 °C, y la electricidad.

Transformación 12

Electrificar la industria de generación de calor bajo



La transformación

La mayoría de las industrias (p. ej., procesamiento y fabricación de alimentos) tienen necesidades de calor moderadas relacionadas con procesos como el vapor a temperatura baja o media, la cocción o la pasteurización. Estos procesos usualmente pueden lograrse con temperaturas de 150 °C o menos (Madeddu et al., 2020; Lechtenböhmer et al., 2016). A estas temperaturas, las tecnologías comerciales de electrotermia directa, inducción, plasma, bomba de calor, energía solar directa, energía eléctrica híbrida o combinada y tecnología solar pueden proporcionar el calor necesario (Bataille et al., 2018; IEA, 2021d). Esta transformación se centra en la electrificación de la demanda de calor bajo para la industria.

Beneficios



Hay beneficios directos en el coste de la energía de esta transformación si la mayoría de la electricidad proviene de energías renovables modernas y baratas (Transformación 1 y 2). También hay mejoras directas en la calidad del aire local y los beneficios asociados para la salud (IEA, 2016). Electrificar la generación de calor bajo también puede propiciar el desarrollo de un ecosistema doméstico de industria limpia, incluida la generación de electricidad limpia, el almacenamiento, la transmisión y los usos finales avanzados (IEA, 2021d; Bataille, 2020; Rissman et al., 2020).

Barreras



En primer lugar, la mayor barrera para la electrificación limpia de la industria de generación de calor bajo es, de lejos, el coste relativamente alto de la electricidad en comparación con el carbón, los productos refinados del petróleo o el metano fósil en la mayoría de las regiones. En segundo lugar, una transformación industrial limpia requerirá capital inicial relativamente mayor y unos costes de energía menores en el tiempo, lo que significa que se requerirán incentivos financieros (IEA, 2021d; Bataille, 2020; Rissman et al., 2020). Por último, la información sobre las alternativas eléctricas a los usos finales actualmente abastecidos con los combustibles fósiles puede ser un problema, especialmente para las pequeñas y medianas empresas.

Intervenciones del gobierno



Es fundamental alinear las señales de precios con el objetivo de la electrificación. Un apoyo clave es la reducción y eventual eliminación de los subsidios a los combustibles fósiles, como se comprometieron de nuevo los países en La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 26) (Timperley, 2021; IEA, 2022c). Además, los subsidios para el consumo de combustibles fósiles industriales deben eliminarse gradualmente, lo que constituye un desafío debido a los usuarios arraigados a ellos (OCDE/IEA, 2021).

Los incentivos financieros en forma de créditos fiscales, subsidios a la inversión o préstamos bonificados pueden incentivar las actualizaciones tecnológicas y las inversiones en innovación transformadora (IEA, 2021d; Bataille, 2020; Rissman et al., 2020).

Los estándares de desempeño pueden fomentar la electrificación de la industria. En Estados Unidos, por ejemplo, los compromisos voluntarios de eficiencia energética de las empresas en el marco del programa Better Plants se subsidiaron con fondos públicos (Fekete et al., 2021).

Los Gobiernos también pueden proporcionar mejor información. Las auditorías gubernamentales de emisiones combinadas con programas de apoyo de información, como se hace a menudo para la eficiencia energética, podrían ayudar a las pequeñas y medianas empresas a evaluar su capacidad para los sistemas de electrificación y energía solar.

Transformación 13

Reemplazar todos los combustibles y materias primas de la industria pesada y de altas temperaturas con alternativas de bajas emisiones



La transformación

Las industrias pesadas, como las del hierro y el acero, el cemento y el concreto, y los productos químicos, tienen requisitos específicos de combustibles y materias primas y dependen de procesos industriales de altas temperaturas. Estas instalaciones son generalmente de larga vida, con oportunidades limitadas para renovaciones, y actualmente funcionan con combustibles fósiles. Bataille et al. (2020) determinaron que el 26 % de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía y los procesos en Costa Rica, el 37 % en Ecuador, el 43 % en Colombia, el 29 % en Argentina, el 60 % en Perú y el 44 % en México estaban vinculadas a procesos industriales.

El hidrógeno verde, definido aquí como el hidrógeno producido a partir de la electrólisis utilizando electricidad limpia, será clave para reducir las emisiones del hierro, el acero y productos químicos como el de los fertilizantes a base de amoníaco (Bataille et al., 2018; Bataille, 2020; Philibert, 2017). El hidrógeno puede reemplazar el carbón para la reducción de mineral de hierro en hornos de Hierro de Reducción Directa (DRI por sus siglas en inglés), mientras que los hornos de arco eléctrico, que actualmente se usan solo para reciclaje, pueden combinar chatarra de alta calidad y baja contaminación con hierro primario nuevo de bajo contenido de GEI de hornos DRI.

Para cemento y concreto, las soluciones técnicas para reducciones de emisiones significativas son (1) un concreto mejor mezclado que minimice el uso de cemento; (2) sustitución de material cementante de clínker por cenizas volantes, escorias, desechos alcalinos, piedra caliza molida y arcillas calcinadas; y eventualmente (3) captura y almacenamiento de carbono (CAC) (Habert et al., 2020; Scrivener et al., 2018). El hidrógeno también se puede usar potencialmente como una fuente sustituta de calor limpio a altas temperaturas para fabricar cemento, quizás mezclado con un combustible de quema más lenta, como la biomasa o los desechos.

Un mayor reciclaje y de mayor calidad, que tiene un uso de energía mucho menor que el de los materiales primarios, será clave para los productos de hierro, aluminio, cobre, litio y otros metales (IEA, 2019a). Esto se analiza con más detalle en la Transformación 14 a continuación.

Beneficios



Esta transformación puede mejorar directamente la calidad del aire local, con beneficios directos para la salud, debido a la reducción de la combustión de carbón, gas o gas licuado de petróleo (IEA, 2016). La producción, el almacenamiento y el uso de hidrógeno para la industria se pueden gestionar de manera sinérgica para aumentar la flexibilidad de la demanda de electricidad y respaldar el suministro de electricidad firme y bajo demanda (por ejemplo, mediante la mezcla con metano en turbinas de generación de electricidad y, finalmente, mediante el uso de celdas de combustible) (Vogl et al. al., 2018; Dowling et al., 2020; Neff et al., 2021).

Barreras



Una vía clave para lograr un acero con menos GEI utilizando las tecnologías existentes es el uso de acero reciclado en lugar de acero primario; una barrera clave es el acceso a suficiente chatarra reciclada (IEA, 2021d, 2020d).

Una barrera para la rápida reducción en las emisiones de cemento utilizando las tecnologías existentes es el menor grado de mezcla profesional de cemento y concreto «en bolsas», en comparación con la mezcla artesanal (Habert et al., 2020; Scrivener et al., 2018). El cemento fabricado profesionalmente puede aprovechar al máximo un mejor dimensionamiento y mezcla de los agregados para minimizar el uso de cemento en el concreto y adaptar los sustitutos del material cementante a la aplicación.

Otra barrera clave es la naturaleza relativamente poco desarrollada y los altos costes proyectados de algunas de las tecnologías transformadoras claves para las industrias pesadas, como la producción de hidrógeno verde, la reducción directa con hidrógeno en la metalurgia y CAC para el cemento (IEA, 2021d; Bataille, 2020; Rissman et al., 2020; IEA, 2020d). Sin embargo, la innovación avanza rápidamente en algunos países desarrollados. Dada la creciente demanda de materiales, los países en vías de desarrollo pueden ser candidatos ideales para la implementación temprana de estas tecnologías una vez desarrolladas.

Otra barrera para el eventual uso de CAC para la fabricación de clínker para el cemento es que las instalaciones se sitúan junto a la piedra caliza y no en las proximidades del almacenamiento geológico de CO₂.

Intervenciones del gobierno



Una intervención clave para la descarbonización de los metales, que se desarrolla con más detalle en la Transformación 14, es el desarrollo de infraestructura para recolectar y separar residuos metálicos (p. ej., hierro, cobre, níquel y metales traza) de productos electrónicos de todo tipo. El uso generalizado de la energía solar fotovoltaica, las baterías y las turbinas eólicas también requerirá en algún momento programas para recuperar los metales de los paneles para su reciclaje.

Los países que estén en condiciones de hacerlo pueden participar en programas globales de aceleración de la tecnología industrial y en posibles sitios de pilotaje comercial, como por ejemplo para la sustitución del hidrógeno de electrólisis basada en la energía solar fotovoltaica en la producción de fertilizantes, el hierro de reducción directa de hidrógeno en acero de los hornos de arco eléctrico, o CAC para las emisiones del proceso del cemento (Bataille, 2020; Trollip et al., 2022).



Los Gobiernos pueden actualizar los códigos de construcción para fomentar la sustitución de materiales cementantes, y la normativa puede utilizarse para imponer la mezcla profesional de cemento y concreto en la mayor medida posible (Habert et al., 2020; Scrivener et al., 2018).

Los Gobiernos pueden preferir materiales más ecológicos en su propia adquisición de infraestructura y otras edificaciones, como lo exhorta la Iniciativa industrial de descarbonización profunda de la Conferencia Ministerial de Energía Limpia (ONUDI, 2021) con socios iniciales de la India, Alemania, Reino Unido, Canadá y Emiratos Árabes Unidos; si es posible, también pueden proporcionar un incentivo basado en la intensidad de GEI para materiales de muy baja emisión. (Sartor y Bataille, 2019).



Residuos

Las emisiones derivadas de la gestión inadecuada de los residuos se crean principalmente en los rellenos sanitarios (lo que resulta en el 5 % de las emisiones mundiales de GEI), dentro de procesos industriales como el tratamiento de aguas residuales y la incineración (3,7 % de las emisiones mundiales) y la quema de biomasa en el sector de la agricultura, el uso de la tierra y la silvicultura (0,5 % de las emisiones mundiales) (Lamb et al., 2021; Liu et al., 2021). En América Latina y el Caribe, los residuos representaron el 6 % de los GEI en 2018 (WRI-CAIT, 2021). A escala municipal, la gestión de los residuos es importante teniendo en cuenta los crecientes niveles de consumo de materiales y residuos de los hogares. En América Latina y el Caribe se generan 541 000 toneladas de residuos municipales al día. Se espera que para 2050 este número aumente en un 25 % (Circular Economy Coalition, 2022). Actualmente, menos del 1 % de los residuos se compostan en la región y solo el 4,5 % de los desechos se reciclan, mientras que, aproximadamente, una cuarta parte de los residuos terminan en vertederos abiertos y dos tercios en vertederos (Kaza et al., 2018). La región líder en reciclaje, la Unión Europea, recicla aproximadamente el 50 % de los residuos domésticos (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2022).

Transformación 14

Trabajar hacia una economía circular



La transformación

Un cambio a una economía circular, es decir, un esfuerzo por reducir el consumo y reutilizar, readaptar, reparar o reciclar materiales al final de su vida útil tanto como sea posible, puede reducir drásticamente la demanda de recursos como plásticos, productos de madera y metales, así como la energía para procesar nuevas materias primas (IPCC, 2022, caps. 5 y 11). Dado que estos recursos a menudo se generan a través de procesos que son intensivos en energía y altamente contaminantes (como la minería y la extracción de nuevas materias primas), una economía más circular puede reducir las emisiones (IEA, 2021d; Bataille, 2020; Rissman et al., 2020; IEA, 2019a). Para implementar una economía circular, la prioridad es trabajar con los reguladores de los códigos de manufactura y construcción, con los arquitectos y las empresas de estos sectores, en la manera cómo se diseñan, fabrican y empaican los productos de la vida diaria, tales como los vehículos, los dispositivos electrónicos, los edificios y la infraestructura, para que utilicen menos recursos, duren más, sean reutilizables para otros usos finales, se puedan desarmar y reciclar fácilmente al final de su vida útil (Zink y Geyer, 2019; IEA, 2019a).

En cuanto al aumento de la vida útil de los productos, tanto la infraestructura como el comportamiento del consumidor deben estar presentes para reutilizar, readaptar y reparar los productos de manera efectiva. Por último, establecer un sistema de recolección y reciclaje de vidrio, plásticos (por ejemplo, botellas de polietileno para bebidas) y metales (por ejemplo, aluminio, cobre, hierro, litio), tanto en el plano comercial como doméstico, es clave para fomentar el reciclaje. Los residuos industriales alcalinos (p. ej., cenizas volantes, escorias y mampostería) deben canalizarse hacia la industria del cemento y el concreto como sustitutos de materiales cementantes (Habert et al., 2020; Scrivener et al., 2018).

Beneficios



Los beneficios de una transformación de la economía circular para los materiales son múltiples. La reducción del uso y la extracción de recursos disminuye la contaminación local del aire, el agua y la tierra, creando así beneficios para la salud pública; también reduce la escala de los impactos ambientales negativos del uso de la tierra que vienen con la extracción de recursos, como la deforestación o la minería. Esto puede tener impactos positivos en las comunidades que viven en áreas ricas en recursos y mejorar la calidad de vida y la seguridad. Los productos están diseñados para ser más robustos, lo que podría aportar beneficios económicos a los consumidores (Ekins et al., 2019). Los materiales reciclados como el hierro, el aluminio y muchos otros metales suelen ser más baratos porque pueden reducir drásticamente la necesidad de nuevas materias primas, la energía y otros insumos necesarios para procesarlos (Daehn et al., 2017; IEA, 2019a). El reciclaje también conlleva una reducción de las necesidades de agua y transmisión, y otros impactos en cascada, como la calidad del aire local. El establecimiento de un modelo de



economía circular también puede crear empleo directamente, como el centrado en la reparación o reutilización de productos, la recolección de materiales reciclables y la gestión de residuos. Los esfuerzos de la economía circular pueden contribuir a establecer nuevas oportunidades de negocio y fomentar la innovación (Kaza et al., 2018). Los impactos económicos positivos a escala local, regional y mundial pueden tener un valor entre uno y dos dígitos bajos del PIB (Ekins et al. 2019).

Barreras



Los incentivos económicos para que los productores cambien la producción a enfoques circulares son bajos, y los elevados costes iniciales y los bajos beneficios a corto plazo para la transición perjudican la adopción (Ekins et al., 2019). Los incentivos regulatorios para crear y mantener una economía circular (p. ej., leyes de responsabilidad extendida del productor o regulaciones que prohíban los vasos o las pajitas de plástico de un solo uso) son en gran medida inexistentes, con la excepción de unos pocos países (Circular Economy Coalition, 2022). La falta de infraestructura de recolección de extremo a extremo y de integración en las cadenas de valor que incluyen el lugar de desecho industrial y doméstico, el transporte de los residuos a instalaciones de recolección y tratamiento, y las instalaciones necesarias para gestionar sus propios residuos es una barrera clave para establecer una economía circular. Vinculado a esto, los comportamientos de clasificación y reciclarse no son comunes. En el plano comercial, faltan fondos dedicados a la innovación en el diseño de productos, lo que ralentiza la aplicación de los cambios necesarios a los productos para integrarlos en un modelo circular. Por ejemplo, la mayoría de los vehículos al final de su vida útil están llenos de cableado de cobre. Si este se deja en los vehículos, se incrementa el nivel de contaminación por cobre del acero; a partir de ciertos niveles, no puede usarse para chapas finas de acero para vehículos y, finalmente, no puede utilizarse para productos planos estructurales (Daehn et al., 2017). La falta de preparación para los cambios de comportamiento (por ejemplo, cuando se asume que la calidad de los productos nuevos es mejor que la de los productos usados), la falta de conocimiento y capacidad tanto de los clientes como de las plantillas laborales disminuye la adopción de la economía circular (Ekins et al., 2019).

Intervenciones del gobierno



Los Gobiernos pueden introducir políticas de contratación pública ecológica, incluidos los requisitos de la economía circular. En los países de la OCDE, el 12 % del PIB está vinculado a la contratación pública y aproximadamente el 30 % del gasto público financia estos procesos de contratación. Por lo tanto, cambiar las políticas de contratación puede tener un impacto significativo en la adopción de una economía circular (Ekins et al., 2019).

Las leyes y las normativas pueden crear mejores condiciones iniciales para una economía circular mediante la introducción de leyes de responsabilidad extendida del productor. En



Chile y Colombia, por ejemplo, la ley incentiva a las empresas para que aumenten la calidad de sus productos, mejoren los procesos de recogida, faciliten la devolución de productos y ayuden a los clientes para que reparen los productos en lugar de comprar otros nuevos (Circular Economy Coalition, 2022). Para reducir el desperdicio, la normativa puede prohibir los productos de un solo uso (por ejemplo, en las comidas para llevar o los plásticos de un solo uso empleados en el embalaje).

Los Gobiernos pueden apoyar financiera y no financieramente a las empresas en la transición hacia una economía circular, por ejemplo, a través de garantías de precios o el desarrollo de capacidades. El municipio de São Paulo compra productos con 30 % de margen de beneficio a 160 agricultores que participan en un proyecto de transición hacia un enfoque de economía circular. Los agricultores reciben, además, asistencia técnica y capacitación, lo que les permite producir alimentos orgánicos y devolver los residuos orgánicos al suelo (Fundación Ellen MacArthur, 2022). Se puede incentivar a las empresas para que aumenten la financiación disponible para el diseño de productos circulares a través de programas de apoyo específicos del sector público, como subvenciones a la inversión o financiación de investigaciones específicas para proyectos de economía circular (Comisión Europea, 2020).

Los sistemas de depósito y devolución para todos los artículos reciclables han demostrado ser efectivos en varios contextos históricos, especialmente para los envases de bebidas de vidrio, aluminio y plástico de polietileno. Los sistemas de depósito y devolución requieren centros de recolección y gestión de residuos reciclables, que también pueden servir como punto de recolección de productos orgánicos (Transformación 15). Se puede ordenar que los residuos de la construcción sean transportados en camiones a centros donde se puedan recuperar y reciclar el máximo de estos materiales. Asimismo, se recomienda introducir tarifas y sanciones elevadas por la eliminación en vertederos ilegales. En el caso de los desechos domésticos, los municipios pueden establecer puntos y horarios regulares para la recolección de residuos y construir instalaciones de gestión que maximicen el potencial de reciclaje de los materiales desechados. El cambio de comportamiento para incentivar la aceptación de los enfoques de la economía circular puede crearse a través de campañas de divulgación o incentivos financieros para la eliminación correcta de los residuos, así como tarifas por su incorrecta eliminación, tales como los impuestos de vertidos, que, sin embargo, deben aplicarse con precaución para evitar efectos adversos como desincentivar la recuperación de materiales (Callao et al., 2021; Fletcher et al., 2018).

Transformación 15

Reducir la pérdida y desperdicio de alimentos e implementar una gestión activa del metano para la eliminación de la materia orgánica



La transformación

Los residuos orgánicos proceden principalmente en la producción y el consumo de alimentos, que constituye una de las industrias que más recursos consume (Searchinger et al., 2019). Aunque es difícil de cuantificar, se estima que hasta el 30 % de la producción mundial de alimentos, que asciende anualmente a 1300 millones de toneladas, no se consume, sino que se pierde antes de llegar a los consumidores o es desperdiciada por los consumidores finales (FAO 2014). Esto equivale a que el 28 % de la tierra cultivable mundial se utiliza para desperdiciar alimentos y supone una pérdida económica de 1 billón de dólares al año (Programa Mundial de Alimentos Programa Mundial de Alimentos [PMA, 2021]). Aproximadamente 2,2 GtCO₂eq, alrededor del 4 % de las emisiones mundiales de GEI, están vinculadas a la pérdida y el desperdicio de alimentos (Fondo mundial para la Naturaleza [WWF, por sus siglas en inglés], 2021). Actualmente, solo se reutiliza el 2 % de los residuos orgánicos que se producen en las ciudades (Fundación Ellen MacArthur, 2021).

El objetivo de esta transformación es reducir los residuos orgánicos y mejorar la gestión del metano de los residuos que, se generan a pesar de todo. El metano puede degradarse a CO₂ a través de la captura y la valorización energética (es decir, la combustión para generar calor y electricidad utilizables), o puede evitarse utilizando sistemas de compostaje a escala urbana (Gobierno de Australia Occidental, 2022; Climate and Clean Air Coalition, 2022). La captura de metano también se puede aplicar a los sistemas de recolección de aguas residuales, según el contexto (WRI, 2022b).

Beneficios



La reducción y la gestión de los desechos orgánicos aportan varios beneficios. El desperdicio de alimentos está valorado en 1 billón de dólares al año; por lo tanto, la reducción de los residuos puede tener un beneficio económico directo (PMA, 2021). La tierra que actualmente se utiliza para la sobreproducción de alimentos podría dedicarse, en su lugar, a la reforestación o a la recreación, como parques y jardines. La mejora de las cadenas de suministro y las cadenas de frío puede reducir la escasez de alimentos y el hambre (PACE, 2021; PMA, 2021). El agua se ahorra cuando se corta la sobreproducción, lo que frena la extracción de acuíferos, la desertificación de las regiones y la escasez de agua en general. También es menos probable que los depósitos de agua, como los lagos, sufran eutrofización (enriquecimiento excesivo de nutrientes) y acidificación (WWF, 2021; WFP, 2021). El metano capturado puede utilizarse para crear biogás o biometano y puede quemarse directamente para obtener energía (WRI, 2022b).

Barreras



En general, las barreras mencionadas en las Transformaciones 6-8, como los fallos del mercado, las elecciones de dieta basadas en la carne y los sistemas de subsidios mal diseñados también impiden la reducción de los residuos orgánicos (WWF, 2021). Además, se pueden considerar las siguientes barreras específicas: las cadenas de suministro y frío defectuosas por el lado del productor y los aspectos comportamentales por parte del consumidor que causan el desperdicio de alimentos. Muchos países y regiones no evalúan sistemáticamente sus patrones de desperdicio de alimentos, por lo que se malgasta la oportunidad de diseñar estrategias de gestión de residuos basadas en hechos. Los objetivos vinculantes de reducción del desperdicio de alimentos están poco o nada integrados en las políticas nacionales, las normativas y los procesos de contratación pública. A menudo, no existen sistemas de recolección de residuos orgánicos que permitan el compostaje (PACE, 2021; WWF, 2021). Cubrir y sellar los vertederos para capturar el metano genera un coste neto, para el que faltan incentivos financieros.

Intervenciones del gobierno



La gestión de la cadena de suministro puede mejorarse mediante el uso de un software que permita la distribución oportuna de bienes y reduzca el desperdicio de alimentos causado por el almacenamiento prolongado y sin refrigeración (Ellen MacArthur Foundation y Google, 2019). Las instalaciones de refrigeración se pueden ubicar o mejorar en varias partes de la cadena de suministro (por ejemplo, en fincas, almacenamiento, transporte y mercados). En zonas remotas, a veces se puede utilizar la generación de energía renovable descentralizada para suministrar electricidad a los sistemas de refrigeración. Además, se puede considerar la posibilidad de conceder ayudas y subvenciones a la inversión pública para apoyar a las partes interesadas de la cadena de suministro en su realización. Los Gobiernos pueden utilizar sus propios organismos o cooperar con los institutos de investigación para recopilar información sistemática sobre el desperdicio de alimentos, y así contribuir a diseñar estrategias a medida para su reducción. Además, pueden establecer objetivos vinculantes sobre el desperdicio de alimentos (de la finca a la mesa) para impulsar nuevas mejoras dirigidas por los productores en la cadena de suministro. Esto también puede incluir el apoyo a los bancos de alimentos locales y una normativa que promueva la redistribución de los excedentes de alimentos que, de otro modo, se desecharían. Además, se puede prohibir el desperdicio de alimentos en los vertederos. La contratación pública puede alinearse con los objetivos de desperdicio y circularidad alimentaria. Los ayuntamientos pueden proporcionar sistemas de recolección selectiva o puntos de entrega para los residuos orgánicos. Estos residuos se recogen en centros de gestión de residuos para su compostaje o contención y combustión (PACE, 2021; WWF, 2021). Para establecer la red de recogida y los sistemas de procesamiento se requiere una evaluación inicial, planificación y capital (Center for Clean Air Policy, 2018). Para ello, los fondos públicos pueden ponerse a disposición para las mejoras necesarias de los centros de gestión de residuos para capturar el metano de manera más eficiente o para transformar los residuos en bienes productivos a través de sistemas de digestión anaeróbica (PACE, 2021).

Conclusión

Cumplir los objetivos del Acuerdo de París es una tarea compleja. En América Latina y el Caribe, lograr los objetivos del Acuerdo de París requeriría dedicar entre el 7 % y el 19 % del PIB, un valor de hasta 1,3 billones de dólares en gastos públicos y privados cada año (Galindo Paliza et al., 2022). No obstante, no se trata de un coste neto: la acción climática no solo sería mucho más barata que los costes de la inacción, sino que también conllevaría beneficios sustanciales. En definitiva, la acción climática no se trata de gastar más, sino de hacerlo de manera diferente. Este documento sugiere que los gobiernos disponen de muchas acciones eficaces y políticamente viables para reorientar el gasto y avanzar hacia el logro de una economía con cero emisiones netas.

Un desafío será priorizar y coordinar las intervenciones gubernamentales en todos los sectores y los diferentes niveles de gobierno (desde el local hasta el federal). Dos instrumentos creados bajo el Acuerdo de París pueden proporcionar a los gobiernos una herramienta para hacerlo. El primero son las NDC, un compromiso nacional público para reducir las emisiones y adaptarse al cambio climático, a menudo de mediano plazo (aproximadamente, para 2035). El segundo son las Estrategias de Descarbonización a Largo Plazo (ECLP o LTS, por sus siglas en inglés), que proporcionan hojas de ruta hacia un desarrollo con bajas emisiones para 2050.

Las NDC y LTS brindan un espacio para que los Gobiernos nacionales reúnan a funcionarios gubernamentales, académicos, representantes del sector privado y ciudadanos para que discutan sobre cómo el país puede traducir un objetivo de cero emisiones netas a largo plazo en una serie de cambios que deben suceder en todos los sectores a lo largo del tiempo (Jaramillo y Saavedra, 2021). A partir de ahí, el enfoque de la discusión de políticas puede moverse hacia el análisis de las barreras para el cambio y el diseño de intervenciones gubernamentales que permitan la descarbonización al eliminarlas. Muchos países de todo el mundo han optado por utilizar estrategias climáticas a largo plazo de esta manera (CMNUCC, 2022). Por ejemplo, la estrategia de descarbonización de Costa Rica establece qué transformaciones sectoriales, organizadas en 10 líneas de acción, permitirán que el país alcance cero emisiones netas para 2050 y proporciona más de 70 intervenciones gubernamentales para que 35 organismos las ejecuten para 2023, 2030 y 2050, y así habiliten la transición (Gobierno de Costa Rica, 2019). Además de servir como hoja de ruta para las intervenciones del Gobierno para redirigir los flujos financieros nacionales, el Gobierno pudo utilizar la estrategia para atraer recursos de instituciones financieras internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo y la Agencia Francesa de Desarrollo (Delgado et al., 2021, cuadro 1).

Muchas partes interesadas diferentes tienen un papel por desempeñar para permitir la transición. En este documento, nos centramos en el papel de los llamados ministerios competentes, empresas y reguladores públicos. Otras publicaciones brindan información sobre los roles que pueden desempeñar los ministerios transversales (p. ej., Cárdenas et al., 2021; Delgado et al., 2021). Delgado et al. (2021) detallan cómo los ministerios de finanzas y planificación pueden establecer una estrategia para financiar la transición y garantizar que el gasto público y la estrategia fiscal respalden la implementación de transformaciones sectoriales consistentes con una transición a una economía con cero emisiones netas. De manera similar, Bhattacharya et al. (2019) brindan información sobre cómo asegurarse de que los proyectos de infraestructura pública se diseñen teniendo en cuenta el cambio climático y objetivos de sostenibilidad más amplios desde el principio. Investigación futura podría centrarse en los papeles respectivos de los distintos niveles de gobierno, como el nacional, el regional y el municipal, que probablemente dependan de las instituciones locales. Es posible que se requieran cambios institucionales y de gobernanza para eliminar las barreras profundas a la descarbonización, lo que también se deja para futuros trabajos.

Para que la transición hacia una economía con cero emisiones netas contribuya a los objetivos de desarrollo social y sea políticamente aceptable, debe ser justa e inclusiva (Vogt-Schilb y Hallegatte, 2017). Una transición justa significa que los Gobiernos deben tratar de maximizar sus beneficios socioeconómicos, anticipar y compensar las pérdidas y costes, y consultar a todas las partes interesadas a la hora de diseñar la política climática. Otros trabajos han demostrado que los ministerios sociales pueden desempeñar un papel clave para que eso suceda (p. ej., OIT, 2018; Saget et al., 2020). Por ejemplo, pueden garantizar que la protección social respalde a los consumidores ante los impactos negativos de la política climática, que el sistema educativo proporcione las habilidades que los trabajadores necesitan para desempeñarse en empleos verdes y que la normativa laboral establezca condiciones de trabajo decentes para las nuevas ocupaciones.

Finalmente, aunque este trabajo se enfoca en intervenciones gubernamentales graduales para permitir la transición a una economía con cero emisiones netas, existen barreras más profundas que pueden obstaculizarla. Por ejemplo, un sistema bancario fallido podría dificultar la inversión del sector privado en cualquier solución con mayores costes iniciales. Un sistema educativo defectuoso puede sumir a los hogares en la pobreza y negarles las habilidades necesarias para participar en una economía sostenible. Si bien la transición a la prosperidad libre de carbono puede brindar una oportunidad para lograr un crecimiento verde inclusivo, no elimina la necesidad de aplicar políticas de desarrollo transversales.

Referencias

- Anenberg, S., J. Miller, D. Henze, and R. Minjares, 2019: A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015. (Una panorámica global de los impactos en la salud relacionados con la contaminación del aire de las emisiones del sector del transporte en 2010 y 2015 [Título traducido]), International Council on Clean Transportation, 55.
- Alpizar et al., 2020: Mainstreaming of natural capital and biodiversity into planning and decision-making. (Incorporación del capital natural y la biodiversidad en la planificación y toma de decisiones: casos de América Latina y el Caribe [Título traducido]) <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Inputs-to-the-Dasgupta-Review-on-the-Economics-of-Biodiversity-Cases-from-Latin-America-and-the-Caribbean-Part-1-Mainstreaming-of-Natural-Capital-and-Biodiversity-into-Planning-and-Decision-Making.pdf>.
- Arregui et al., 2020: Sectoral policies for climate change mitigation in the EU. Departmental Papers. (Políticas sectoriales para la mitigación del cambio climático en la UE. Documentos departamentales [Título traducido]) 2020 Jg., Nr. 014. <https://www.imf.org/en/Publications/Departmental-Papers-Policy-Papers/Issues/2020/09/16/Sectoral-Policies-for-Climate-Change-Mitigation-in-the-EU-49640>
- Audoly, R., A. Vogt-Schilb, C. Guivarch, and A. Pfeiffer, 2018: Pathways toward zero-carbon electricity required for climate stabilization. (Rutas hacia la electricidad libre de carbono para la estabilización del clima [Título Traducido]). Applied Energy, 225 (November 2017), 884–901, doi:10.1016/j.apenergy.2018.05.026.
- Baik, E. et al., 2021: What is different about different net-zero carbon electricity systems? (¿Qué tienen de diferente los diferentes sistemas de electricidad con cero emisiones netas de carbono? [Título Traducido]). Energy and Climate Change, 2, 100046, doi:10.1016/j.egycc.2021.100046.
- Bataille, C., 2020: Physical and policy pathways to net-zero emissions industry. (Camino físico y político hacia la industria de emisiones netas cero [Título traducido]). WIREs Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 11 (e633), 1–20, doi:10.1002/wcc.633.
- Bataille, C. et al., 2016: The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy. (La necesidad de vías nacionales de descarbonización profunda para una política climática eficaz [Título traducido]). Climate Policy, 16(sup1), S7–S26, doi:10.1080/14693062.2016.1173005.
- Bataille, C. et al., 2018: A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy intensive industry production consistent with the Paris Agreement. (Una revisión de las opciones de vías de descarbonización profunda de la tecnología y la política para hacer que la producción de la industria intensiva en energía sea coherente con el Acuerdo de París [Título traducido]). Journal of Cleaner Production, 187, 960–973, doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.107.
- Bataille, C. et al., 2020: Net-zero deep decarbonization pathways in Latin America: Challenges and opportunities. (Vías de descarbonización profunda neta cero en América Latina: Desafíos y oportunidades [Título traducido]). Energy Strategy Reviews, DDP-LAC Sp, doi:10.1016/j.esr.2020.100510.
- Battaglia Richi, E. et al., 2015: Aspects sanitaires de la consommation de viande. (Aspectos saludables del consumo de carne [Título traducido]). Forum Médical Suisse - Swiss Medical Forum, 15(24), doi:10.4414/fms.2015.02296.
- BCG, 2020: The Staggering Value of Forests—and How to Save Them. (El asombroso valor de los bosques y cómo salvarlos [Título traducido]). <https://www.bcg.com/publications/2020/the-staggering-value-of-forests-and-how-to-save-them>.
- Blanco, J. P., E. Windisch, S. Perkins, A. Ito, and J. Leape, 2022: Decarbonising Transport in Latin American cities: A review of policies and key challenges. (Descarbonizando el Transporte en las ciudades de América Latina: Una revisión de políticas y desafíos clave [Título traducido]).
- BNEF, 2021: Electric Vehicles Are Going to Dent Oil Demand—Eventually. (Los vehículos eléctricos van a hacer mella en la demanda de petróleo, —eventualmente [Título traducido]).
- Boehm, S. et al., 2021: State of Climate Action 2021: Systems Transformations Required to Limit Global Warming to 1.5°C. (Transformaciones de sistemas necesarias para limitar el calentamiento global a 1,5 °C [Título traducido]). World Resources Institute, doi:10.46830/wriipt.21.00048.
- Bryant, C. J., 2020: Culture, meat, and cultured meat. (Cultura, carne y carne cultivada [Título traducido]). Journal of Animal Science, 98(8), 1–7, doi:10.1093/jas/skaa172.
- Callao, C., M. P. Latorre, and M. Martínez-Núñez, 2021: Understanding hazardous waste exports for disposal in Europe: A contribution to sustainable development. (Comprender las exportaciones de residuos peligrosos para su eliminación en Europa: una contribución al desarrollo sostenible [Título traducido]). Sustainability (Switzerland), 13(16), 1–14, doi:10.3390/su13168905.

- Cárdenas, M., J. P. Bonilla, and F. Brusa, 2021: Climate Policies in Latin America and the Caribbean: Success Stories and Challenges in the Fight against Climate Change (Políticas Climáticas en América Latina y el Caribe: Casos de Éxito y Desafíos en la Lucha contra el Cambio Climático [Título traducido]), doi:10.18235/0003239.
- Cats, O., T. Reimal, and Y. Susilo, 2014: Public transport pricing policy—Empirical evidence from a fare-free scheme in Tallinn, Estonia. (Política de precios del transporte público: evidencia empírica de un esquema de tarifas gratuitas en Tallin, Estonia [Título traducido].) *Transport Research Record*, 2415, 89–96. https://www.researchgate.net/publication/266262692_Public_Transport_Pricing_Policy_-_Empirical_Evidence_from_a_Fare-Free_Scheme_in_Tallinn_Estonia.
- Cavallo, E., A. Powell, and IDB, 2021: Opportunities for Stronger and Sustainable Postpandemic Growth: 2021 Latin American and Caribbean Macroeconomic Report. (Oportunidades para un crecimiento pospandémico más sólido y sostenible: Informe macroeconómico de América Latina y el Caribe 2021 [Título traducido]) Inter-American Development Bank.
- Centre for Clean Air Policy, 2018: Organic waste management and emissions reduction in the Waste Sector. (Gestión de residuos orgánicos y reducción de emisiones en el Sector Residuos [Título traducido]). https://www.waste.ccacoalition.org/sites/default/files/files/2_organic_waste_management_gerardo_canales.pdf.
- Cesar, A. et al., 2022: A Framework for the Fiscal Impact of Electromobility. (January) (Un Marco para el Impacto Fiscal de la Electromovilidad [Título traducido]). <https://publications.iadb.org/en/framework-fiscal-impact-electromobility>.
- Circular Economy Coalition, 2022: Circular Economy in Latin America and the Caribbean: Promoted By the Forum of Ministers of the Environment of Latin America and the Caribbean, Led By Four of Its Strategic Partner Organisations: (Economía Circular en América Latina y el Caribe: Impulsada por el Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, Liderado por Cuatro de sus Organizaciones Socias Estratégicas [Título traducido]): The Ellen Macarthur Foundation; The Regional Programme E.
- Clarke, L. et al., 2014: Assessing Transformation Pathways. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Evaluación de las vías de transformación. En: Cambio Climático 2014: Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [Título traducido]) [Edenhofer, O. et al., (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 413–510.
- Climate and Clean Air Coalition, 2022: Municipal Solid Waste Knowledge Platform. (Plataforma de Conocimiento de Residuos Sólidos Municipales [Título traducido]), <https://www.waste.ccacoalition.org/tool>.
- Coffin, M., A. Dalman, and A. Grant, 2021: Beyond Petrostates: The Burning Need to Cut Oil Dependence in the Energy (Más allá de los petroestados: la necesidad urgente de reducir la dependencia del petróleo en la energía [Título traducido]). *Transition—Carbon Tracker Initiative* 2021. <https://carbontracker.org/reports/petrostates-energy-transition-report/>.
- Costanza, R. et al., 2014: Changes in the global value of ecosystem services. (Cambios en el valor global de los servicios ecosistémicos [Título traducido]) *Global Environmental Change*, 26(1), 152–158, doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.
- Creutzig, F. et al., 2018: Towards demand-side solutions for mitigating climate change. (Hacia soluciones del lado de la demanda para mitigar el cambio climático [Título traducido]) *Nature Climate Change*, 8(4), 268–271, doi:10.1038/s41558-018-0121-1.
- Daehn, K. E., A. Cabrera Serrenho, and J. M. Allwood, 2017: How will copper contamination constrain future global steel recycling? (¿Cómo limitará la contaminación por cobre el futuro reciclaje global de acero? [Título traducido]) *Environmental Science & Technology*, 51(11), 6599–6606, doi:10.1021/acs.est.7b00997.
- Davis, S. J. et al., 2018: Net-zero emissions energy systems. (Sistemas de energía de cero emisiones netas [Título traducido]). *Science*, 9793 (June), doi:10.1126/science.aas9793.
- DDPLAC, 2020: Policy lessons from the Deep Decarbonization Pathways in Latin America and the Caribbean Project (DDPLAC). (Lecciones de política del Proyecto Vías de Descarbonización Profunda en América Latina y el Caribe [Título traducido]) https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/CatalogueIddri/Rapport/DDPLAC-dec2020_1.pdf.
- Delgado, R., H. Eguino, and A. Lopes, 2021: Fiscal Policy and Climate Change: Recent Experiences of Finance Ministries in Latin America and the Caribbean. (Política Fiscal y Cambio Climático: Experiencias Recientes de los Ministerios de Hacienda de América Latina y el Caribe [Título traducido]).
- DellaValle, N., and A. Zubaryeva, 2019: Can we hope for a collective shift in electric vehicle adoption? Testing salience and norm-based interventions in South Tyrol, Italy. (¿Podemos esperar un cambio colectivo en la adopción de vehículos eléctricos? Prueba de prominencia e intervenciones basadas en normas en Tirolo del Sur, Italia [Título traducido]). *Energy Research and Social Science*, 55(November 2018), 46–61, doi:10.1016/j.erss.2019.05.005.

- DeMaio, P., 2009: Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future (Bicicletas compartidas: Historia, Impactos, Modelos de Provisión y Futuro [Título traducido]). *Journal of Public Transportation*, 12(4), 41–56, doi:10.5038/2375-0901.12.4.3.
- Douglas, M. J., S. J. Watkins, D. R. Gorman, and M. Higgins, 2011: Are cars the new tobacco? (¿Son los coches el nuevo tabaco? [Título traducido]) *Journal of Public Health*, 33(2), 160–169, doi:10.1093/pubmed/fdr032.
- Dowling, J. A. et al., 2020: Role of long-duration energy storage in variable renewable electricity systems. (Papel del almacenamiento de energía de larga duración en sistemas eléctricos renovables variables [Título traducido]) *Joule*, 4(9), 1907–1928, doi:10.1016/j.joule.2020.07.007.
- Dumas, P., et al., 2022: Options to achieve net-zero emissions from agriculture and land use changes in Latin America and the Caribbean, (Opciones para lograr cero emisiones netas de la agricultura y los cambios de uso del suelo en América Latina y el Caribe [Título traducido]), Washington D.C.
- Dummett, Cassie, et al. Illicit harvest, complicit goods. The State of Illegal Deforestation for Agriculture (Cosecha legal, bienes cómplices. El Estado de la Deforestación Ilegal para la Agricultura [Título traducido]). Report Forest Trends, 2021.
- Eclac (Economic Commission for Latin America and the Caribbean), 2021: Forest loss in Latin America and the Caribbean from 1990–2020: the statistical evidence (Pérdida de bosques en América Latina y el Caribe entre 1990 y 2020: la evidencia estadística [Título traducido]). Eclac Statistical Briefings. No. 2, July 2021. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47152/1/S210265_en.pdf
- Ekins, P. et al., 2019: The Circular Economy: What, Why, How and Where (La economía circular: qué, por qué, cómo y dónde [Título traducido]) . Background paper for an OECD/EC Workshop on 5 July 2019 within the workshop series “Managing environmental and energy transitions for regions and cities” Paris, 1–89.
- Ellen MacArthur Foundation, 2021: Completing the Picture: How the circular economy tackles climate change 2021 (Completando la foto: cómo la economía circular aborda el cambio climático 2021 [Título traducido]) Reprint. Ellen MacArthur Foundation, 3(26 September), 71.
- Ellen MacArthur Foundation, 2022: Regenerative agriculture around São Paulo: Connect the Dots. (Agricultura regenerativa alrededor de São Paulo: conecta los puntos [Título traducido].) (<https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/connect-the-dots> (Accessed May 6, 2022).
- Ellen MacArthur Foundation, and Google, 2019: Artificial intelligence and the circular economy. (Inteligencia artificial y economía circular [Título traducido]). <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>.
- Ernstberger, A. et al., 2015: Decrease of morbidity in road traffic accidents in a high income country – An analysis of 24,405 accidents in a 21 year period. (Disminución de la morbilidad en accidentes de tránsito en un país de altos ingresos: un análisis de 24,405 accidentes en un período de 21 años [Título traducido]) *Injury*, 46, S135–S143, doi:10.1016/S0020-1383(15)30033-4.
- Espa, I., and S. Rolland, 2015: Subsidies, Clean Energy, and Climate Change, (Subsidios, Energía Limpia y Cambio Climático [Título traducido]), Geneva, www.e15initiative.org.
- European Commission, 2020: A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. (Un nuevo Plan de Acción de Economía Circular: Por una Europa más limpia y competitiva [Título traducido]). https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF.
- European Commission, 2021: European Citizens' Initiative: Commission to propose phasing out of cages for farm animals. (Iniciativa Ciudadana Europea: la Comisión propondrá la eliminación gradual de las jaulas por ahora [Título traducido]) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3297.
- European Commission et al., 2021: Technical analysis of measures to improve consumer awareness of emissions and fuel consumption of vehicles. (Análisis técnico de medidas para mejorar la concienciación de los consumidores sobre las emisiones y el consumo de combustible de los vehículos [Título traducido]), <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/88148b8d-b91d-11eb-8aca-01aa75ed71a1/language-en>.
- European Environmental Agency, 2022: Waste recycling in Europe. (Reciclaje de Residuos e en Europa [Título traducido]) <https://www.eea.europa.eu/ims/waste-recycling-in-europe>.
- European Transport Safety Council (ETSC), D. Adminaité-Fodor, and G. Jost, 2020: How safe is walking and cycling in Europe? (¿Qué tan seguro es caminar y andar en bicicleta en Europa? [Título traducido]) , PIN Flash Report 38. (January), 73. https://etsc.eu/wp-content/uploads/PIN-Flash-38_FINAL.pdf.
- FAO, 2009: Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation And Adaptation Potential Of Sustainable Farming Systems (Agricultura baja en gases de efecto invernadero: potencial de mitigación y adaptación de los sistemas agrícolas sostenibles [Título traducido]). <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/282600/>.

- FAO, 2014: Food losses and waste in the context of sustainable food systems. (Pérdidas y desperdicio de alimentos en el contexto de los sistemas alimentarios sostenibles [Título traducido])
- FAO, 2017a: Livestock & climate change, 1–16. (Ganadería y cambio climático [Título traducido])
- FAO, 2017b: Climate-Smart Agriculture Sourcebook, 1–47. (Libro de consulta sobre agricultura climáticamente inteligente [Título traducido])
- FAO, and UNEP, 2020: The State of the World's Forests 2020. (El estado de los bosques del mundo 2020 [Título traducido]) <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CA8642EN/>.
- FAO, UNDP, and UNEP, 2021: A Multi-Billion-Dollar Opportunity, (Una oportunidad multimillonaria [Título traducido]) 180. FAOSTAT, 2022: FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Fay, M. et al., 2015: Decarbonizing development: Three steps to a zero-carbon future. (Descarbonización del desarrollo: tres pasos hacia un futuro sin emisiones de carbono [Título traducido]). World Bank Group, XXXIII(2), 81–87, doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- Fekete, H. et al., 2021: A review of successful climate change mitigation policies in major emitting economies and the potential of global replication. (Una revisión de las políticas exitosas de mitigación del cambio climático en las principales economías emisoras y el potencial de replicación global [Título traducido]) Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137(March 2020), doi:10.1016/j.rser.2020.110602.
- Fletcher, C. A., P. D. Hooper, and R. M. Dunk, 2018: Unintended consequences of secondary legislation: A case study of the UK landfill tax (qualifying fines) order 2015. (Consecuencias no deseadas de la legislación secundaria: un estudio de caso del impuesto sobre vertederos del Reino Unido (multas calificadas) orden 2015 [Título traducido]) Resources, Conservation and Recycling, 138(February), 160–171, doi:10.1016/j.resconrec.2018.07.011.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2018: Strengthening national forest monitoring systems for REDD+, 32. (Fortalecimiento de los sistemas nacionales de monitoreo forestal para REDD [Título traducido]).
- Food and Agriculture Organization (FAO) and FILAC, 2021: Forest governance by indigenous and tribal peoples. An opportunity for climate action in Latin America and the Caribbean. (Gobernanza occidental por pueblos indígenas y tribales. Una oportunidad para la acción climática en América Latina y el Caribe [Título traducido]). <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb2953en>.
- Foster, J., A. Lowe, and S. Winkelmann, 2011: The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaptation (El valor de la infraestructura verde para la adaptación al clima urbano [Título traducido]) (February).
- Fresán, U., S. Errendal, and W. J. Craig, 2020: Influence of the socio-cultural environment and external factors in following plant-based diets. (Influencia del entorno sociocultural y factores externos en el seguimiento de dietas basadas en plantas [Título traducido]). Sustainability (Switzerland), 12(21), 1–13, doi:10.3390/su12219093.
- Fridstrom, L., 2019: Electrifying the vehicle fleet: Projections for Norway 2018–2050. (Electrificando la flota de vehículos: Proyecciones para Noruega 2018–2050 [Título traducido]). <https://www.toi.no/publications/electrifying-the-vehicle-fleet-projections-for-norway-2018-2050-article35528-29.html>.
- Froggatt, A., L. Wellesley, and R. Bailey, 2014: Livestock – Climate Change's Forgotten Sector: Global Public Opinion on Meat and Dairy Consumption. (Ganadería: el sector olvidado del cambio climático: opinión pública mundial sobre el consumo de carne y lácteos. Informe de la casa de Chatham [Título traducido]). Chatham House Report, (<https://www.chathamhouse.org/2014/12/livestock-climate-change-forgotten-sector-global-public-opinion-meat-and-dairy-consumption>).
- Garnett, S. T. et al., 2018: A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. (Una descripción espacial de la importancia global de las tierras indígenas para la conservación). Nature Sustainability, 1(7), 369–374, doi:10.1038/s41893-018-0100-6.
- Geels, F., S. Sharpe, and D. Victor, 2019: Accelerating the low carbon transition. (Acelerar la transición baja en carbono) Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 99.
- Gerbens-Leenes, P. W., M. M. Mekonnen, and A. Y. Hoekstra, 2013: The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. (La huella hídrica de aves, cerdos y reses: un estudio comparativo en diferentes países y sistemas de producción [Título traducido]) Water Resources and Industry, 1–2, 25–36, doi:10.1016/j.wri.2013.03.001.
- German Association of the Automotive Industry (VDA), 2021: Cross-sector consortium submits funding application for megawatt charging for commercial vehicles. (Consorcio intersectorial presenta solicitud de financiación para carga de megavatios para vehículos comerciales [Título traducido]) <https://www.vda.de/en/press/press-releases/210303-Cross-sector-consortium-submits-funding-application-for-megawatt-charging-for-commercial-vehicles.html>.

- Gielen, D. et al., 2019: The role of renewable energy in the global energy transformation. (El papel de las energías renovables en la transformación energética mundial [Título traducido]) *Energy Strategy Reviews*, 24(January), 38–50, doi:10.1016/j.esr.2019.01.006.
- GIZ, 2021: Just Transition to a Green Economy: Employment, Economic, and Social Consequences of the Transition to an Ecologically Sustainable Economy in Developing Countries. (Transición Justa a una Economía Verde: empleo, Consecuencias Económicas y Sociales en países en desarrollo [Título traducido]) <https://www.iisd.org/publications/just-transition-green-economy>.
- González-Mahecha, E., O. Lecuyer, M. Hallack, M. Bazilian, and A. Vogt-Schilb, 2019: Committed emissions and the risk of stranded assets from power plants in Latin America and the Caribbean. (Emisiones comprometidas y riesgo de activos varados de centrales eléctricas en América Latina y el Caribe [Título traducido]). (*Environmental Research Letters*, 14(12), doi:10.1088/1748-9326/ab5476.
- Gov of Costa Rica, 2019: National Decarbonization Plan - Government of Costa Rica 2018–2050. (Plan Nacional de Descarbonización - Gobierno de Costa Rica 2018-2050 [Título traducido]). <https://unfccc.int/documents/204474>.
- Gov of Western Australia, 2022: Composting to avoid methane production. (Compostaje para evitar la producción de metano [Título traducido]) <https://www.agric.wa.gov.au/climate-change/composting-avoid-methane-production>.
- Grassi, G. et al., 2017: The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation (El papel clave de los bosques en el cumplimiento de los objetivos climáticos requiere ciencia para una mitigación creíble [Título traducido]). *Nature Climate Change*, 7(3), 220–226, doi:10.1038/nclimate3227.
- Groves, D. G. et al., 2020: The Benefits and Costs Of Decarbonizing Costa Rica's Economy: Informing the Implementation of Costa Rica's National Decarbonization Plan under Uncertainty (Los beneficios y costes de descarbonizar la economía de Costa Rica: informar do la implementación del Plan Nacional de Descarbonización de Costa Rica bajo incertidumbre [Título traducido]) doi:10.18235/0002867.
- Habert, G. et al., 2020: Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. (Impactos ambientales y estrategias de descarbonización en las industrias del cemento y el hormigón [Título traducido]) *Nature Reviews Earth & Environment*, doi:10.1038/s43017-020-0093-3.
- Hall, D., N. Pavlenko, and N. Lutsey, 2018: Beyond road vehicles: Survey of zero-emission technology options across the transport sector. (Más allá de los vehículos de carretera: Encuesta de opciones tecnológicas de cero emisiones en el sector del transporte [Título traducido]) *The International Council on Clean Transportation*, 22.
- Hull, A., and C. O'Holleran, 2014: Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling? (Infraestructura para bicicletas: ¿puede un buen diseño fomentar el ciclismo? [Título traducido]) *Urban, Planning and Transport Research*, 2(1), 369–406, doi:10.1080/21650020.2014.955210.
- ICCT, M. Moutak, N. Lutsey, and D. Hall, 2017: Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. (Transición a vehículos de carga pesados de cero emisiones [Título traducido]) *The International Council on Clean Transportation*, (September), 53.
- IDB, 2017: Agricultural input subsidies and productivity: The case of Paraguayan farmers. (Subsidios a insumos agrícolas y productividad: el caso de los agricultores paraguayos [Título traducido]) (April), 1–26.
- IDB, 2018: Agricultural Support Policies in Latin America and the Caribbean: 2018 Review. (Políticas de Apoyo a la Agricultura en América Latina y el Caribe: Revisión 2018 [Título traducido]), doi:10.18235/0001191.
- IDB, 2019: Agriculture Sector Framework. (Marco del Sector Agrícola [Título traducido]). <https://www.iadb.org/en/sector/agriculture/sector-framework> (Accessed May 6, 2022).
- IDB, 2021a: Impacto fiscal de la descarbonización del transporte en Costa Rica y opciones de política para manejarlo. <https://publications.iadb.org/es/impacto-fiscal-de-la-descarbonizacion-del-transporte-en-costa-rica-y-opciones-de-politica-para>.
- IDB, 2021b: Urban road congestion in Latin America and the Caribbean: characteristics, costs, and mitigation.
- IDB, and DDPLAC, 2019: Getting to Net-Zero Emissions: Lessons from Latin America and the Caribbean. (Llegando a Emisiones Netas Cero: Lecciones de América Latina y el Caribe [Título traducido]). (Diciembre), doi:10.18235/0002024.
- IDDRI, 2021a: Climate ambition beyond emission numbers: Taking stock of progress by looking inside countries and sectors. (Ambición climática más allá de las cifras de emisiones: hacer un balance del progreso mirando dentro de los países y sectores [Título traducido]) (September). <https://www.iddri.org/en/publications-and-events/report/climate-ambition-beyond-emission-numbers-taking->

- IDDDRI, 2021b: Mitigation ambition in motion: How closer to the 1.5°C goal after COP26? (¿Qué tan cerca está el objetivo de 1,5 °C después de la COP26? [Título traducido]) <https://www.idddri.org/en/publications-and-events/blog-post/mitigation-ambition-motion-how-closer-15degc-goal-after-cop26>.
- IEA, 2013a: Technology Roadmap. Energy efficient building envelopes. (Hoja de ruta tecnológica. Envolventes de edificios energéticamente eficientes [Título traducido]) Oecd, 68.
- IEA, 2013b: Transition to Sustainable Buildings. (Transición a Edificios Sostenibles [Título traducido])
- IEA, 2016: Energy and Air Pollution: World Energy Outlook Special Report,(Energía y contaminación del aire: informe especial de las perspectivas energéticas mundiales [Título traducido]) doi:10.1016/B978-0-12-809597-3.00127-9.
- IEA, 2017: Energy Technology Perspectives 2017 - Catalyzing Energy Technology Transformations. (Energy Technology Perspectives 2017 - (Catalizar las transformaciones de la tecnología energética [Título traducido]) <http://www.iea.org/etp2017/>.
- IEA, 2018: 20 Renewable Energy Policy Recommendations. (Recomendaciones de política de energía renovable [Título traducido]), <https://www.iea.org/reports/20-renewable-energy-policy-recommendations>.
- IEA, 2019a: Material efficiency in clean energy transitions (Eficiencia material en transiciones de energía limpia[Título traducido]), doi:10.1787/aeaaccd8-en.
- IEA, 2019b: Heating and Cooling Strategies in the Clean Energy Transition. (Estrategias de calefacción y refrigeración en la transición de energía limpia [Título traducido]). <https://www.iea.org/reports/heating-and-cooling-strategies-in-the-clean-energy-transition>.
- IEA, 2020a: Renewables 2020, (Renovables 2020 [Título traducido]) , doi:10.1002/peng.20026.
- IEA, 2020b: World Energy Outlook 2020 (Perspectivas energéticas mundiales 2020 [Título traducido])-event, IEA.
- IEA, 2020c: Energy Efficiency 2020, (Eficiencia energética [Título traducido]). Paris, France, <https://webstore.iea.org/download/direct/4259>.
- IEA, 2020d: Energy Technology Perspectives (ETP) Clean Energy Technology Guide.
- IEA, 2021a: Global Energy Review 2021. (Informe de Energía Global 2021 [Título traducido]), 1–36.
- IEA, 2021b: Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, (Emisiones netas iguales a cero para 2050: una hoja de ruta para el sector energético mundial, [Título traducido]) Paris, France, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- IEA, 2021c: Electricity demand growth in Latin America, 2021–2040. (Crecimiento de la demanda de electricidad en América Latina, 2021–2040 [Título traducido]) <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electricity-demand-growth-in-latin-america-2021-2040> (Accessed May 6, 2022).
- IEA, 2021d: Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. (Net Zero para 2050: una hoja de ruta para el sector energético mundial, [Título traducido])
- IEA, 2021e: Building Envelopes. (Construcción de Envolventes [Título traducido]) <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/building-envelopes>.
- IEA, 2022a: Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales. (Los autos eléctricos evitan los desafíos de suministro a más del doble de las ventas globales [Título traducido]) <https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales> (Accessed May 6, 2022).
- IEA, 2022b: Heat Pumps.(Bombas de Calor [Título traducido]) <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>.
- IEA, 2022c: Energy subsidies: Tracking the impact of fossil-fuel subsidies & case studies for reform. (Subsidios a la energía: seguimiento del impacto de los subsidios a los combustibles fósiles y estudios de casos para la reforma [Título traducido]). <https://www.iea.org/topics/energy-subsidies>.
- IEA, and OECD, 2019: Global EV Outlook 2019 to electric mobility.(Panorama global de VE 2019 para la movilidad eléctrica [Título traducido]) OECD [iea.org](https://www.iea.org), 232.
- IEA, and IMF, 2020: Sustainable Recovery: World Energy Outlook Special Report (Recuperación sostenible: Reporte especial del panorama energético mundial [Título traducido]). World Energy Outlook, 185.
- IFC, 2015: Hydroelectric Power: A Guide for Developers and Investors, (La energía hidroeléctrica: Guía para promotores e inversores [Título traducido]) 145–152, doi:10.1002/9781119204442.ch16.
- ILO, 2018: World Employment and Social Outlook: Greening with jobs. (Perspectivas sociales y del empleo en el mundo: Ecología con empleo [Título traducido]) 1–190.
- IMF, 2022: Climate Change: Fossil Fuel Subsidies. (Cambio climático: Subvenciones a los combustibles fósiles[Título traducido]) <https://www.imf.org/en/Topics/climate-change/energy-subsidies>.

- Inkinen, T., and E. Hämäläinen, 2020: Reviewing truck logistics: Solutions for achieving low emission road freight transport. Sustainability (Revisión de la logística de los camiones: Soluciones para lograr un transporte de mercancías por carretera con bajas emisiones [Título traducido]) (Switzerland), 12(17), 1–11, doi:10.3390/SU12176714.
- IPBES, 2019: Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services, (Resumen para responsables políticos del informe de evaluación global sobre biodiversidad y servicios de los ecosistemas [Título traducido])680–681.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers.(Resumen para legisladores [Título traducido])
- IPCC, 2022: Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers (Mitigación del cambio climático Resumen para responsables políticos [Título traducido]) (SPM). Cambridge University Press,.
- IPCC et al., 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Transporte. En: Cambio Climático 2014: Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Título traducido]) [Edenhofer, O. et al., (eds.)].
- IRENA, 2015: Renewable energy in the water, energy and food nexus. (La energía renovable en el nexo entre agua, energía y alimentos [Título traducido]) International Renewable Energy Agency, (January), 1–125.
- IRENA, 2017: Accelerating Off-grid Renewable Energy: Key Findings and Recommendations from IOREC 2016. (Acelerar la energía renovable fuera de la red: Principales conclusiones y recomendaciones de IOREC 2016 [Título traducido]) Irena, 1–24.
- IRENA, 2018: Renewable Energy Policies in a Time of Transition, (Políticas de energías renovables en una época de transición [Título traducido])2771–2786.
- IRENA, 2019a: A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation. (Un nuevo mundo: La geopolítica de la transformación energética [Título traducido]) <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/A-New-World-The-Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>.
- IRENA, 2019b: IRENA (2019), Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. 52, 10–23.
- IRENA, 2020a: Renewable Power Generation Costs in 2020, (Costes de generación de energía renovable en 2020 [Título traducido])160.
- IRENA, 2020b: Power system organisational structures for the renewable energy era, 36. (Estructuras organizativas del sistema eléctrico para la era de las energías renovables [Título traducido])
- IRENA, 2020c: Green bonds - Renewable Energy Finance Brief 03 (Bonos verdes - Informe sobre la financiación de las energías renovables [Título traducido]). (January), 16.
- IRENA, 2020d: Renewable Power Generation Costs in 2019, (Costes de la generación de energía renovable [Título traducido])160.
- IRENA, 2020e: Virtual Power Lines Innovation Landscape Brief. (Resumen del panorama de innovación de las líneas eléctricas virtuales [Título traducido])
- IRENA, 2021: World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway, (Perspectivas de la transición energética mundial: Senda de 1,5°C, [Título traducido])1–312.
- IRENA, and China State Grid Co., 2019: Electrification with Renewables: Driving the transformation of energy services, ((Electrificación con Renovables: Impulsando la transformación de los servicios energéticos [Título traducido])20.
- IRENA, and ILO, 2021: Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2021. (Energía renovable y empleo: Revision anual 2021 Título traducido))(May). <https://irena.org/publications/2021/Oct/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2021>.
- ITF-OECD, 2018: Decarbonising Maritime Transport Case-specific Policy Analysis. (Análisis de la política de descarbonización del transporte marítimo Título traducido)
- ITF, 2020: Regulations and Standards for Clean Trucks and Buses: On the Right Track? (Reglamentos y normas para camiones y autobuses limpios: ¿En el camino correcto? Título traducido))International Transport Forum Policy Papers, 77, 69.
- ITF, 2021: ITF Transport Outlook: Executive Summary, (Perspectivas del transporte de la ITF: Resumen ejecutivo Título traducido)) 4.
- ITF - OECD, 2021: Cleaner Vehicles Achieving a Resilient Technology Transition,(Vehículos más limpios :Lograr una transición tecnológica resiliente [Título traducido]) 120. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cleaner-vehicles-technology-transition.pdf>.
- IUCN, 2021: The Latin America and Caribbean Protected Planet Report 2020. (Informe Planeta Protegido de América Latina y el Caribe 2020 [Título traducido]) <https://www.iucn.org/news/protected-areas/202104/latin-america-and-caribbean-protected-planet-report-2020>.

- IUCN, 2021b: Forests and climate change. (Los bosques y el cambio climático [Título traducido]) <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/forests-and-climate-change#:~:text=Forests are a stabilising force, climate change is two-fold>.
- Jalava, M. et al., 2016: Diet change and food loss reduction: What is their combined impact on global water use and scarcity? *Earth's Future*, (Cambio de dieta y reducción de la pérdida de alimentos: ¿Cuál es su impacto combinado en el uso y la escasez de agua a escala mundial [Título traducido]) 4(3), 62–78, doi:10.1002/2015EF000327.
- Jaramillo, M., and V. Saavedra, 2021: NDC Invest: Supporting Transformational Climate Policy and Finance. NDC Invest: Supporting Transformational Climate Policy and Finance, (Inversión NDC: Apoyo a la Política y Finanzas Climáticas Transformacionales [Título traducido]) doi:10.18235/0003340.
- Jenkins, J. D., M. Luke, and S. Thernstrom, 2018: Getting to zero carbon emissions in the electric power sector. *Joule*, 2(12), 2498–2510, doi:10.1016/j.joule.2018.11.013.
- Kaack, L. H., P. Vaishnav, M. G. Morgan, I. L. Azevedo, and S. Rai, 2018: Decarbonizing intraregional freight systems with a focus on modal shift. *Environmental Research Letters*, (Descarbonizar los sistemas de carga intrarregionales con un enfoque en el cambio modal [Título traducido]) 13(8), doi:10.1088/1748-9326/aad56c.
- Kaza, S., L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, 2018: What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. (Qué pérdida!: Una instantánea global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050. [Título traducido]) World Bank, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
- Khaleghi, M. R., 2017: The influence of deforestation and anthropogenic activities on runoff generation. *Journal of Forest Science*, (La influencia de la deforestación y las actividades antropogénicas en la generación de escorrentía [Título traducido]) 63(6), 245–253, doi:10.17221/130/2016-JFS.
- Krogstrup, S., and W. Oman, 2019: Macroeconomic and financial policies for climate change mitigation: A review of the literature (Políticas macroeconómicas y financieras para la mitigación del cambio climático: una revisión de la literatura)(WP/19/185). International Monetary Fund, 58. <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/09/04/Macroeconomic-and-Financial-Policies-for-Climate-Change-Mitigation-A-Review-of-the-Literature-48612>.
- Lamb, W., T. Wiedmann, J. Pongratz, and Etc., 2021: A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. (Una revisión de las tendencias y los impulsores de las emisiones de gases de efecto invernadero por sector desde 1990 hasta 2018) *Environmental Research Letters*.
- Leard, B., 2021: Federal Climate Policy 104: The Transportation Sector. (Política climática federal 104: El sector del transporte)(March), 1–16.
- Lechtenböhmer, S., L. J. Nilsson, M. Ahman, and C. Schneider, 2016: Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification - Implications for future EU electricity demand. *Energy*(Descarbonización de la industria de materiales básicos intensiva en energía a través de la electrificación: implicaciones para la futura demanda de electricidad de la UE), 115, 1623–1631, doi:10.1016/j.energy.2016.07.110.
- Lefevre, B. J., and IDB, 2021: Lecciones aprendidas en la implementación de modelos de negocio para la masificación de buses eléctricos en Latinoamérica y el Caribe Lecciones aprendidas en la implementación de modelos de negocio para la masificación de buses eléctricos en Latinoamérica.
- Lilliestam, J., A. Patt, and G. Bersalli, 2021: The effect of carbon pricing on technological change for full energy decarbonization: A review of empirical ex-post evidence. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, (El efecto de la tarificación del carbono en el cambio tecnológico para la descarbonización total de la energía: una revisión de la evidencia empírica ex post)12(1), 1–21, doi:10.1002/wcc.681.
- Liu, Y., R. Zhang, J. Wang, and Y. Wang, 2021: Current and future lithium-ion battery manufacturing. (Fabricación actual y futura de baterías de iones de litio) *Science*, 24(4), 102332, doi:10.1016/j.isci.2021.102332.
- Llera, E., S. Scarpellini, A. Aranda, and I. Zabalza, 2013: Forecasting job creation from renewable energy deployment through a value-chain approach. (Previsión de la creación de empleo a partir del despliegue de energías renovables a través de un enfoque de cadena de valor). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 262–271, doi:10.1016/j.rser.2012.12.053.
- Lohrmann, A., J. Farfan, U. Caldera, C. Lohrmann, and C. Breyer, 2019: Global scenarios for significant water use reduction in thermal power plants based on cooling water demand estimation using satellite imagery. *Nature Energy*, (Escenarios globales para una reducción significativa del uso de agua en centrales térmicas basados en la estimación de la demanda de agua de enfriamiento utilizando imágenes satelitales)4(12), 1040–1048, doi:10.1038/s41560-019-0501-4.
- Madeddu, S. et al., 2020: The CO₂ reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (El potencial de reducción de CO₂ para la industria europea a través de la electrificación directa del suministro de calor)(power-to-heat). *Environmental Research Letters*, IN press, 28, doi:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbd02>.

- Markandya, A., and P. Wilkinson, 2007: Electricity generation and health. (Generación eléctrica y salud) *The Lancet*, 370.9591, 970–990.
- Martin, A., M. Suhrcke, and D. Ogilvie, 2012: Financial incentives to promote active travel: An evidence review and economic framework. (incentivos financieros para promover los viajes activos: una revisión de la evidencia y un marco económico) *American Journal of Preventive Medicine*, 43(6), e45–e57, doi:10.1016/j.amepre.2012.09.001.
- Mattioli, G., C. Roberts, J. K. Steinberger, and A. Brown, 2020: The political economy of car dependence: A systems of provision approach (La economía política de la dependencia del automóvil: un enfoque de sistemas de provisión). *Energy Research and Social Science*, 66(February), 101486, doi:10.1016/j.erss.2020.101486.
- McKinsey, 2022: Building the electric-vehicle charging infrastructure America needs. (Construyendo la infraestructura de carga de vehículos eléctricos que América necesita) <https://www.mckinsey.com/industries/public-and-social-sector/our-insights/building-the-electric-vehicle-charging-infrastructure-america-needs>.
- Mekonnen, M. M., and W. Gerbens-Leenes, 2020: The water footprint of food, (La huella hídrica de los alimentos) 4.
- Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 2021: Planificación Energética de Largo Plazo - Proyectando Juntos El Futuro Energético de Chile. Informe preliminar. <http://pelp.minenergia.cl/informacion-del-proceso/resultados>.
- Minx, J. C. et al., 2021: Gas Emissions By Sector 1970–2019 (Emisiones de gas por sector 1970–2019). *Earth System Science Data*, (July), 1–63.
- Mohammad, A. G., and M. A. Adam, 2010: The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses (El impacto del tipo de cubierta vegetal en la escorrentía y la erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra). *Catena*, 81(2), 97–103, doi:10.1016/j.catena.2010.01.008.
- Murphy, P. M., S. Twaha, and I. S. Murphy, 2014: Analysis of the cost of reliable electricity: A new method for analyzing grid connected solar, diesel and hybrid distributed electricity systems considering an unreliable electric grid, with examples in Uganda (Análisis del coste de la electricidad confiable: un nuevo método para analizar sistemas de electricidad distribuidos híbridos, diesel y solares conectados a la red considerando una red eléctrica no confiable, con ejemplos en Uganda). *Energy*, 66, 523–534, doi:10.1016/j.energy.2014.01.020.
- Neff, J., C. Bataille, and B. Shaeffer, 2021: The Role of Hydrogen in Decarbonizing Alberta's Electricity System. (El papel del hidrógeno en la descarbonización del sistema eléctrico de Alberta) 14(31), 1–9. <https://www.policyschool.ca/publications/>.
- Net Zero Tracker, 2022: Net Zero Tracker. <https://zerotracker.net/>.
- New Climate Institute, 2020: A radical transformation of mobility in Europe: Exploring the decarbonisation of the transport sector by 2040. (Una transformación radical de la movilidad en Europa: explorando la descarbonización del sector del transporte para 2040) https://newclimate.org/wp-content/uploads/2020/09/TransportRoadmap_Report_September2020.pdf.
- O'Neill, J. et al., 2020: Pathways to Building Sector Decarbonization: A Focus on Net-Zero Carbon Buildings. (Caminos hacia la descarbonización del sector de la construcción: un enfoque en los edificios de carbono neto cero) University of Maryland School of Public Policy Center for Global Sustainability, (August).
- OECD/IEA, 2021: Update on Recent Progress in Reform of Inefficient Fossil Fuel Subsidies (Actualización sobre el progreso reciente en la reforma de los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles) That. (July).
- OECD, 2020: Transport Bridging Divides, 1–24.
- OECD, 2021: Transport Strategies for Net-Zero Systems by Design.
- PACE, 2021: Circular Economy Action Agenda - Food. (Agenda de Acción de Economía Circular - Alimentos) https://pacecircular.org/sites/default/files/2021-02/circular-economy-action-agenda-food_0.pdf.
- Parry, I., S. Black, and N. Vernon, 2021: Still Not Getting Energy Prices Right: A Global and Country Update of Fossil Fuel Subsidies. (Hasta que los precios de la energía no estén correctos: una actualización global y nacional de los subsidios a los combustibles fósiles)
- Philibert, C., 2017: Renewable energy for industry: From green energy to green materials and fuels. International Energy Agency. (Energías renovables para la industria: de la energía verde a los materiales y combustibles verdes)
- Pincetl, S., and E. Gearin, 2005: The reinvention of public green space. *Urban Geography*, (La reinención del espacio verde público) 26(5), 365–384, doi:10.2747/0272-3638.26.5.365.
- Piñeiro, V. et al., 2020: A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. (Una revisión de alcance sobre los incentivos para la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y sus resultados) *Nature Sustainability*, 3(10), 809–820, doi:10.1038/s41893-020-00617-y.

- Quiros-Tortos, J., L. Victor-Gallardo, and L. Ochoa, 2019: Electric vehicles in Latin America: Slowly but surely toward a clean transport. (Vehículos eléctricos en América Latina: lento pero seguro hacia un transporte limpio) *IEEE Electrification Magazine*, 7(2), 22–32, doi:10.1109/MELE.2019.2908791.
- Ribeiro, H. V., D. Rybski, and J. P. Kropp, 2019: Effects of changing population or density on urban carbon dioxide emissions. *Nature Communications*, (Efectos del cambio de población o densidad en las emisiones de dióxido de carbono urbano) 10(1), 1–9, doi:10.1038/s41467-019-11184-y.
- Rissman, J. et al., 2020: Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied Energy*, (Tecnologías y políticas para descarbonizar la industria global: revisión y evaluación de los impulsores de mitigación hasta 2070) 266(November 2019), 114848, doi:10.1016/j.apenergy.2020.114848.
- RMI, 2020: Gas Stoves: Health and Air Quality Impacts and Solutions. (Estufas de gas: impactos y soluciones en la salud y la calidad del aire) <https://rmi.org/insight/gas-stoves-pollution-health>.
- Road Freight Zero, Mission Possible, and WEF, 2021: Road Freight Zero: Pathways to faster adoption of zero-emission trucks. (October). https://www3.weforum.org/docs/WEF_RFZ_Pathways_to_faster_adoption_of_zero_emission_trucks_2021.pdf.
- Rochedo, P. R. R. et al., 2018: The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. *Nature Climate Change*, (La amenaza de la negociación política para la mitigación climática en Brasil) 8(8), 695–698, doi:10.1038/s41558-018-0213-y.
- Röck, M. et al., 2020: Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, (Emisiones de GEI incorporadas en los edificios: el desafío oculto para la mitigación eficaz del cambio climático) 258, 114107, doi:10.1016/j.apenergy.2019.114107.
- Rockström, J. et al., 2017: A Roadmap for Rapid Decarbonization. (Una hoja de ruta para la descarbonización rápida) *Science*, 355(6331), 1–2.
- Roelfsema, M. et al., 2018: Reducing global GHG emissions by replicating successful sector examples: the ‘good practice policies’ scenario. *Climate Policy*, (Reducir las emisiones globales de GEI replicando ejemplos exitosos del sector: el escenario de las “políticas de buenas prácticas”) 18(9), 1103–1113, doi:10.1080/14693062.2018.1481356.
- Rogelj, J. et al., 2019: A new scenario logic for the Paris Agreement long-term temperature goal. (Una nueva lógica de escenario para el objetivo de temperatura a largo plazo del Acuerdo de París) *Nature*, 573(7774), 357–363, doi:10.1038/s41586-019-1541-4.
- Saget, C., A. Vogt-Schilb, and T. Luu, 2020: Jobs in a Net-Zero Emissions Future in Latin America and the Caribbean. (Empleos en un futuro de emisiones netas cero en América Latina y el Caribe [Título traducido]).
- Sartor, O., and C. Bataille, 2019: IDDRI Policy Brief: Decarbonising basic materials in Europe: How Carbon Contracts for Difference could help bring break through technologies to market. (Descarbonización de materiales básicos en Europa: cómo los contratos de carbono por diferencia podrían ayudar a llevar tecnologías innovadoras al mercado [Título traducido]). <https://www.iddri.org/en/publications-and-events/study/decarbonising-basic-materials-europe>.
- Scholl, L., A. Guerrero, O. Quintanilla, and M. Celse L’Hoste, 2021: Approach paper: Comparative Case Studies: IDB Supported Urban Transport Projects. (Documento de enfoque: Estudios de casos comparativos: Proyectos de transporte urbano respaldados por el BID [Título traducido]). Inter American Development Bank (IDB), <https://publications.iadb.org/en/approach-paper-comparative-case-studies-idb-supported-urban-transport-projects>.
- Scrivener, K. L., V. M. John, and E. M. Gartner, 2018: Eco-efficiency: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. (Cementos ecoeficientes: posibles soluciones económicamente viables para una industria de materiales a base de cemento con bajas emisiones de CO₂ [Título traducido]). *Cement and Concrete Research*, 114(February), 2–26, doi:10.1016/j.cemconres.2018.03.015.
- Searchinger, T. et al., 2019: Creating a sustainable food future. A menu of solutions to sustainably feed more than 10 billion people by 2050. (Creando un futuro alimentario sostenible: un menú de soluciones para alimentar a casi 10 mil millones de personas para 2050 [Título traducido]) World Resources Institute, (July).
- Searchinger, T. D., S. Wiersenius, T. Beringer, and P. Dumas, 2018: Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. (Evaluar la eficiencia de los cambios en el uso del suelo para mitigar el cambio climático [Título traducido]). *Nature*, 564(7735), 249–253, doi:10.1038/s41586-018-0757-z.
- SEI, IISD, ODI, E3G, and UNEP, 2021: The production gap report 2021: Governments’ planned fossil fuel production remains dangerously out of sync with Paris Agreement limits, (Informe sobre la brecha de producción 2021: la producción de combustibles fósiles planificada por los gobiernos sigue estando peligrosamente fuera de sincronía con los límites del Acuerdo de París [Título traducido]) doi:10.1049/ep.1978.0323.

- Sepulveda, N. A., J. D. Jenkins, F. J. de Sisternes, and R. K. Lester, 2018: The role of firm low-carbon electricity resources in deep decarbonization of power generation. (El papel de los recursos firmes de electricidad baja en carbono en la descarbonización profunda de la generación de energía[Título traducido]) *Joule*, 2(11), 2403–2420, doi:10.1016/j.joule.2018.08.006.
- Shangguan, S., A. Afshin, M. Shulkin, F. Imamura, and D. Mozaffarian, 2019: A Meta-analysis of Food Labeling Effects on Consumer Diet Behaviors and Industry Practices. (Un metanálisis de los efectos del etiquetado de alimentos en los comportamientos dietéticos de los consumidores y las prácticas de la industria[Título traducido]) [https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797\(18\)32357-2/fulltext](https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797(18)32357-2/fulltext).
- Shoup, D., 2021: The high cost of free parking, (El alto coste del estacionamiento gratuito[Título traducido]) Routledge.
- Sohail, M., D. Maunder, and S. Cavill, 2006: Effective regulation for sustainable public transport in developing countries. *Transport Policy*, (Regulación eficaz para el transporte público sostenible en los países en desarrollo[Título traducido]) 13(3), 177–190.
- Solano-Rodríguez, B. et al., 2021: Implications of climate targets on oil production and fiscal revenues in Latin America and the Caribbean. *Energy and Climate Change*, Implicaciones de las metas climáticas en la producción petrolera y los ingresos fiscales en América Latina y el Caribe[Título traducido], 2(May), 100037, doi:10.1016/j.egycc.2021.100037.
- Statista, 2019: Number of deaths attributable to air pollution exposure in Latin America and the Caribbean in 2019, by country. (Número de muertes atribuibles a la exposición a la contaminación del aire en América Latina y el Caribe en 2019, por país[Título traducido]), <https://www.statista.com/statistics/868789/number-deaths-air-pollution-latin-america-caribbean-country/> 233000/year 2019.
- Suhrcke, M. et al., 2006: The contribution of health to the economy in the European Union. *Public Health*, 120(11), 994–1001, doi:10.1016/j.puhe.2006.08.011.
- Sustainable Mobility for All, 2017: Global Mobility Report 2017: Tracking Sector Performance. (Informe de Movilidad Global 2017: Seguimiento del Desempeño del Sector [Título traducido]) <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28542>.
- TDA, 2018: Decarbonising transport by 2050. (Descarbonizando el transporte para 2050 [Título traducido]) (December).
- Testa, F., E. Annunziata, F. Iraldo, and M. Frey, 2016: Drawbacks and opportunities of green public procurement: An effective tool for sustainable production. Inconvenientes y oportunidades de la compra pública verde: una herramienta eficaz para la producción sostenible [Título traducido] *Journal of Cleaner Production*, 112, 1893–1900, doi:10.1016/j.jclepro.2014.09.092.
- Tilman, D., and M. Clark, 2014: Global diets link environmental sustainability and human health. (Las dietas mundiales vinculan la sostenibilidad ambiental y la salud humana [Título traducido]) *Nature*, 515(7528), 518–522, doi:10.1038/nature13959.
- Timperley, J., 2021: Why fossil fuel subsidies are so hard to kill. (¿Por qué los subsidios a los combustibles fósiles son tan difíciles de eliminar? [Título traducido]) *Nature*, 598(7881), 403–405, doi:10.1038/d41586-021-02847-2.
- Tong, D. et al., 2019: Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5 °C climate target. (Las emisiones comprometidas de la infraestructura energética existente ponen en peligro el objetivo climático de 1,5 °C) *Nature*, 572(7769), 373–377, doi:10.1038/s41586-019-1364-3.
- Trollip, H., B. McCall, and C. Bataille, 2022: How green primary iron production in South Africa could help global decarbonization. *Climate Policy*, (Cómo la producción de hierro primario verde en Sudáfrica podría ayudar a la descarbonización global[Título traducido]) 22(2), 236–247, doi:10.1080/14693062.2021.2024123.
- UNEP, 2021a: Environmental and health impacts of pesticides and fertilizers and ways of minimizing them - Summary for Policy Makers. (Impactos ambientales y de salud de los pesticidas y fertilizantes y formas de minimizarlos - Resumen para los responsables de la formulación de políticas[Título traducido]) <https://www.unep.org/resources/report/environmental-and-health-impacts-pesticides-and-fertilizers-and-ways-minimizing>.
- UNEP, 2021b: Progress on integrated water resources management. (Avances en la gestión integrada de los recursos hídricos[Título traducido])
- UNEP, and IUCN, 2021: Nature-based solutions for climate change mitigation, (Soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación del cambio climático[Título traducido]) 42.
- UNEP-WCMC, and IUCN, 2021: Protected Planet Report 2020. (Informe Planeta Protegido 2020 [Título traducido]) <https://www.unep.org/resources/protected-planet-report-2020>

- UNFCCC, 2015: Paris Agreement. Conference of the Parties on its twenty-first session, (Acuerdo de París. Conferencia de las Partes en su vigésimo primer período de sesiones[Título traducido]) 21932(December), 32, doi:FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.
- UNFCCC, 2022: Communication of Long Term Strategies. (Comunicación de Estrategias a Largo Plazo [Título traducido]) <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies>.
- UNIDO, 2021: Clean Energy Ministerial - Industrial Deep Decarbonization Initiative (IDDI). <https://www.cleaneenergyministerial.org/initiative-clean-energy-ministerial/industrial-deep-decarbonisation-initiative>.
- Van Der Werf, G. R. et al., 2017: Global fire emissions estimates during 1997–2016. (Estimaciones de emisiones globales de incendios durante 1997-2016) *Earth System Science Data*, 9(2), 697–720, doi:10.5194/essd-9-697-2017.
- Vogl, V., M. Åhman, and L. J. Nilsson, 2018: Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking. (Evaluación de la reducción directa de hidrógeno para la fabricación de acero libre de combustibles fósiles [Título traducido]) *Journal of Cleaner Production*, 203, 736–745, doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.279.
- Vogt-Schilb, A., and S. Hallegatte, 2017: Climate policies and nationally determined contributions: Reconciling the needed ambition with the political economy. (Políticas climáticas y contribuciones determinadas a escala nacional: Conciliando la ambición necesaria con la economía política [Título traducido]). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 6(6), e256, doi:10.1002/wene.256.
- Vogt-Schilb, A., S. Hallegatte, and C. de Gouvello, 2015: Marginal abatement cost curves and the quality of emission reductions: a case study on Brazil. (Curvas de costes marginales de reducción y la calidad de las reducciones de emisiones: un estudio de caso en Brasil [Título traducido]). *Climate Policy*, 15(6), 703–723, doi:10.1080/14693062.2014.953908.
- Vogt-Schilb, A. et al., 2019: Cash transfers for pro-poor carbon taxes in Latin America and the Caribbean. (Transferencias de efectivo para impuestos al carbono a favor de los pobres en América Latina y el Caribe [Título traducido]). *Nature Sustainability*, 2(10), 941–948, doi:10.1038/s41893-019-0385-0.
- Vohra, K. et al., 2021: Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. (Mortalidad global por contaminación de partículas finas al aire libre generada por la combustión de combustibles fósiles: resultados de GEOS-Chem [Título traducido]). *Environmental Research*, 195(July 2019), 110754, doi:10.1016/j.envres.2021.110754.
- Waisman, H. et al., 2019: A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies. (Un marco de diseño de vías para estrategias nacionales de desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero [Título traducido]). *Nature Climate Change*, 9(April), doi:10.1038/s41558-019-0442-8.
- WEF, 2019: Traffic congestion cost the US economy nearly \$87 billion in 2018. (La congestión del tráfico le costó a la economía de los EE. UU. casi \$ 87 mil millones en 2018 [Título traducido]). <https://www.weforum.org/agenda/2019/03/traffic-congestion-cost-the-us-economy-nearly-87-billion-in-2018/>.
- Wegman, F., F. Zhang, and A. Dijkstra, 2012: How to make more cycling good for road safety? Accident Analysis and Prevention, (¿Cómo hacer que más ciclismo sea bueno para la seguridad vial? Análisis y prevención de accidentes [Título traducido]), 44(1), 19–29, doi:10.1016/j.aap.2010.11.010.
- Welsby, D., B. S. Rodriguez, S. Pye, and A. Vogt-schilb, 2021: High and dry: Stranded natural gas reserves and fiscal revenues in Latin America and the Caribbean. (Alto y seco: reservas de gas natural varadas e ingresos fiscales en América Latina y el Caribe [Título traducido]),(Octubre).
- Wesseling, J. H., J. C. M. Farla, and M. P. Hekkert, 2015: Exploring car manufacturers' responses to technology-forcing regulation: The case of California's ZEV mandate. (Exploración de las respuestas de los fabricantes de automóviles a la regulación de fuerza tecnológica: el caso del mandato ZEV de California [Título traducido]). *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 87–105, doi:10.1016/j.eist.2015.03.001.
- WFP, 2021: 11 facts about food loss and waste – and how it links to sustainable food systems. (11 datos sobre la pérdida y el desperdicio de alimentos, y cómo se relaciona con los sistemas alimentarios sostenibles [Título traducido]). <https://www.wfp.org/stories/11-facts-about-food-loss-and-waste-and-how-it-links-sustainable-food-systems>.
- Williams, D., T. Chatterton, and G. Parkhurst, 2012a: Using disruption as an opportunity to change travel practices. (Usar la disrupción como una oportunidad para cambiar las prácticas de viaje [Título traducido]). 1st International Conference on Urban Sustainability and Resilience, 14 <https://uwe-repository.worktribe.com/output/94t2047/using-disruption-as-an-opportunity-to-change-travel-practices>.
- Williams, J. H. et al., 2012b: The technology path to deep greenhouse gas emissions cuts by 2050: The pivotal role of electricity. (El camino tecnológico hacia reducciones profundas de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050: El papel fundamental de la electricidad [Título traducido]). *Science (New York, N.Y.)*, 335(6064), 53–59, doi:10.1126/science.1208365.

- Williams, J. H. et al., 2021: Carbon-neutral Pathways for the United States. (Rutas neutrales en carbono para los Estados Unidos [Título traducido]) *AGU Advances*, 2(1), doi:10.1029/2020av000284.
- World Bank, 2019: GREEN YOUR BUS RIDE (Ecologiza tu viaje en bus [Título traducido]). Clean Buses in Latin America Summary report. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/410331548180859451/pdf/133929-WP-PUBLIC-P164403-Summary-Report-Green-Your-Bus-Ride.pdf>.
- World Bank, and IHME, 2016: The Cost of Air Pollution : Strengthening the Economic Case for Action, (El coste de la contaminación del aire: Fortaleciendo el Caso Económico de la acción [Título traducido]). Washington D.C., USA, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25013>.
- World Bank et al., 2016: Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty, 1–227. (Ondas de choque: La gestión de los impactos del cambio climático en la pobreza, [Título traducido]).
- World Bank Group, ESMAP, and MECS, 2020: Cooking with electricity: A cost perspective. (Cocinar con electricidad: Una perspectiva de costes [Título traducido]). <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34566>.
- World Economic Forum, 2021: In France, you could soon swap your old car for an electric bike. (En Francia, pronto podrás cambiar tu viejo coche por una bicicleta eléctrica [Título traducido]). <https://www.weforum.org/agenda/2021/04/green-french-initiative-offers-grant-in-exchange-for-old-cars/>.
- WRI, 2021: Climate Watch Historical GHG Emissions. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2018&start_year=1990
- WRI, 2022a: Is Behavioral Science the Secret Ingredient for Effective Climate Action? (¿Es la ciencia del comportamiento el ingrediente secreto para una acción climática eficaz? [Título traducido]). <https://www.wri.org/insights/behavioral-science-effective-climate-action>.
- WRI, 2022b: Wastewater: The Best Hidden Energy Source You've Never Heard Of. (Aguas residuales, la mejor fuente de energía de j́amas se ha escuchado [Título traducido]). <https://www.wri.org/insights/wastewater-best-hidden-energy-source-youve-never-heard>.
- WWF, 2021: Driven to wastge: The global impact of food loss and waste on farms. (Impulsando al desperdicio: el impacto global de la pérdida y el desperdicio de alimentos en las granjas [Título traducido].) https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/driven_to_waste___the_global_impact_of_food_loss_and_waste_on_farms.pdf.
- Yañez-Pagans, P., D. Martinez, O. A. Mitnik, L. Scholl, and A. Vazquez, 2019: Urban transport systems in Latin America and the Caribbean: lessons and challenges. (Sistemas de transporte urbano en América Latina y el Caribe: lecciones y desafíos [Título traducido]). *Latin American Economic Review*, 28(1), 15, doi:10.1186/s40503-019-0079-z.
- Zink, T., and R. Geyer, 2019: Material Recycling and the Myth of Landfill Diversion. (Reciclaje de materiales y el mito del desvío de vertederos [Título traducido]) *Journal of Industrial Ecology*, 23(3), 541–548, doi:10.1111/jiec.12808.

Alcanzar cero emisiones netas es necesario para limitar el calentamiento global a menos de 2 °C y cerca de 1,5 °C, que son los objetivos de temperatura del Acuerdo de París. Más de 50 países de todo el mundo han establecido objetivos para alcanzar emisiones netas cero, generalmente para 2050; y la mayoría de los demás están trabajando en objetivos similares. Lograr estos objetivos requiere transformaciones en varios sectores como el de la electricidad, el transporte, la agricultura, el uso de la tierra, los edificios, la industria y la gestión de residuos.

Para realizar la transición a una economía neutra en carbono existen varias soluciones que incluyen la tecnología y los cambios de comportamiento (que a menudo vienen con beneficios económicos, sociales o de desarrollo), sin embargo, existen también muchas barreras impiden su adopción.

Recopilamos evidencia de la literatura académica y gris para identificar 15 transformaciones sectoriales que permitan alcanzar cero emisiones netas de gases de efecto invernadero. Luego enumeramos las barreras que impiden su adopción, como los obstáculos relacionados con la infraestructura, las regulaciones, las finanzas públicas y privadas, la información y los problemas de economía política. Finalmente, brindamos más de 50 ejemplos de intervenciones gubernamentales en el plano sectorial que pueden eliminar estas barreras, como la construcción de infraestructura, la reforma de regulaciones y subsidios, el suministro de información y el desarrollo de capacidades, y la gestión de los impactos distributivos. Los gobiernos pueden usar esta información para comunicar el diseño de estrategias climáticas integrales que traduzcan el objetivo de cero emisiones netas a largo plazo en una hoja de ruta de las transformaciones necesarias en cada sector, y luego trabajar en el diseño e implementación de intervenciones gubernamentales a un nivel nacional, regional o local que las habilite.