

LECCIONES SOBRE POLÍTICAS APRENDIDAS DEL PROYECTO

Rutas de Descarbonización Profunda en América Latina y el Caribe

RESUMEN GENERAL Y PERSPECTIVAS DE LOS EQUIPOS DE LOS PAÍSES

DDPLAC

DDPLAC Consortium. Editado por C.Bataille

Con el soporte de :
BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (IDB)
AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT (AFD)
2050 PATHWAYS PLATFORM
HOJA DE RUTA 2050

IDDRI

Copyright © 2020 IDDRI

El Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI) anima a la reproducción y divulgación pública de sus materiales con derechos de autor, utilizando los créditos apropiados (referencia bibliográfica y/o hipervínculo correspondiente), en el caso de investigación personal, corporativa o de política pública o con propósitos educativos. Sin embargo, los materiales con derechos de autor de IDDRI no son aptos para su uso comercial o difusión (impresa o electrónica). A no ser que se manifieste expresamente en otro sentido, los resultados, interpretaciones y conclusiones descritos en este informe corresponden a los diversos autores y no representan necesariamente aquellos de la junta de IDDRI.

Citation

Consortio DDPLAC, editado por C. Bataille. (2020). Policy Lessons from the Deep Decarbonization Pathways in Latin America and the Caribbean Project (DDPLAC), IDDRI.

El informe está disponible en línea en: <https://www.iddri.org/en/project/deep-decarbonization-pathways-latin-america>

Contactos: Chris Bataille, chris.bataille@iddri.org y Henri Waisman, henri.waisman@iddri.org

INICIATIVA «RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN PROFUNDA»

DEEP DECARBONIZATION PATHWAYS (DDP) INITIATIVE

La iniciativa «Rutas de descarbonización profunda» (DDP por sus siglas en inglés) es una iniciativa del Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI). Su objetivo es mostrar cómo los países pueden transformar su economía de aquí a 2050 para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero de manera profunda y coherente, con la finalidad de llegar a un equilibrio de carbono cero lo antes posible durante la segunda mitad del siglo XXI. La iniciativa DDP está basada en el «Proyecto Rutas de descarbonización profunda» (DDPP por sus siglas en inglés), que analizó la profunda descarbonización de los sistemas energéticos en 16 países antes de la Conferencia de París sobre cambio climático, COP 21 (deepdecarbonization.org). Ambos proyectos comparten principios estratégicos. Se realizan análisis a escala nacional a través de grupos de investigación nacionales que trabajan con independencia de sus Gobiernos. Estos análisis adoptan un horizonte a largo plazo (2050) para presentar las condiciones y acciones necesarias a corto plazo coherentes con el logro de los objetivos a largo plazo de clima y desarrollo. Finalmente, los grupos de investigación nacionales comparten abiertamente sus métodos, herramientas de modelización, datos y resultados de sus análisis para, de una forma muy colaborativa, mancomunar el conocimiento con sus socios y así facilitar el compromiso de expertos sectoriales y aquellos que ostentan el poder de tomar decisiones. El desarrollo de trayectorias sectoriales de descarbonización profunda a largo plazo y en diferentes países, en este caso con el flete a Francia, forma parte de esta iniciativa más amplia.

CONSORCIO DDPLAC

El Consorcio de las Rutas de descarbonización profunda en América Latina y el Caribe (DDPLAC por sus siglas en inglés) está gestionado por el Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI) y está formado por un grupo de expertos independientes pertenecientes a las siguientes instituciones:

- Fundación Bariloche, Argentina
- Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED)
- Universidad de los Andes, Colombia
- Universidad del Rosario, Colombia
- Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)
- Universidad de Costa Rica, Costa Rica
- KTH Royal Institute of Technology
- Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
- COPPE- Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
- Tempus Analítica, México
- Evolved Energy Research
- Universidad del Pacífico, Perú

Los puntos de vista expresados en este informe no reflejan necesariamente los puntos de vista de un Gobierno determinado o las instituciones a las que pertenecen los diferentes autores.

Support

El proyecto «Rutas de descarbonización profunda en América Latina y el Caribe» está financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), sufragado por la Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático del BID, el Fondo Francés para el Clima del BID, la Agence Française de Développement (AFD) y la Plataforma Rutas 2050.



Publicación: IDDRI

Directores editoriales: Pierre Barthélemy, Chris Bataille, Henri Waisman

Edición y corrección: Chris Bataille, Henri Waisman

Diseño gráfico: Ivan Pharabod.

LECCIONES SOBRE POLÍTICAS APRENDIDAS DEL PROYECTO **RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN PROFUNDA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**

DICIEMBRE 2020

DDPLAC

LECCIONES APRENDIDAS SOBRE POLÍTICAS

Resumen	6
Introducción	11
Cómo revisar las NDC para que sean acordes con las metas a largo plazo	13
Cómo pueden las Estrategias a Largo Plazo ayudar con el desarrollo de políticas en el mundo real	15

COUNTRY PERSPECTIVES

ARGENTINA

Mensajes clave	27
Circunstancias Nacionales	28
Metodología para modelar el proyecto	29
Hallazgos clave en las políticas	30

COLOMBIA

Mensajes clave	33
La posición de Colombia	34
Meta y alcance del estudio	34
Hallazgos principales	35
Conclusiones	39

COSTA RICA

ECUADOR

Mensajes clave	47
Circunstancias nacionales y hallazgos	48

MEXICO

Mensajes clave	55
Introducción: los planes actuales de México no cumplirán con el Acuerdo de París	56
Metodología: Las herramientas para la descarbonización pueden trazar rutas hacia las cero emisiones netas	56
Resultados: La descarbonización sectorial puede apalancar las rutas de desarrollo económico y social	57
Conclusión: Se necesitan cambios rápidos y profundos en las políticas si México ha de lograr el éxito	61

PERU

Mensajes clave	63
Sí es posible que Perú siga una ruta hacia cero emisiones netas	64
Los modelos	69



Graham Watkins

Jefe de la División sobre Cambio Climático y Sostenibilidad

Banco Interamericano de Desarrollo

Prólogo

La pandemia causada por COVID-19 sigue haciendo estragos en América Latina y el Caribe, causando severos efectos adversos en la salud, empleo y liquidez de la población. Atender la emergencia sanitaria y social es la prioridad central de los gobiernos, sin embargo, también hay una mirada hacia el futuro y cómo garantizar la recuperación económica sostenible.

Las brechas de desarrollo preexistentes en nuestra región agravan el efecto de la pandemia. Por ejemplo, los vendedores ambulantes no pueden trabajar desde sus casas, ni generar ingresos si todos los demás trabajan remotamente; además, su acceso a servicios de salud es limitado o nulo. La pandemia está golpeando especialmente al 50% de trabajadores informales en América Latina y el Caribe. Son estos mismos grupos vulnerables los más afectados por la crisis climática, por ejemplo, cuando las olas de calor hacen imposible trabajar en el exterior, o cuando los riesgos que representan las tormentas e inundaciones atentan contra sus vidas. Nuestro libro *El Empleo en un futuro de emisiones netas en América Latina y el Caribe*, publicado en conjunto con la Organización Internacional del Trabajo, subraya que los países necesitan un plan para salir de los efectos económicos y sociales de la pandemia al mismo tiempo que se preparan para crear economías resilientes y de cero emisiones netas.

Este nuevo informe se centra en los resultados del proyecto Rutas Profundas de Descarbonización de América Latina y el Caribe (DDPLAC por sus siglas en inglés), proyecto que ha generado experiencia valiosa sobre cómo los bancos de desarrollo pueden ayudar a países a diseñar estrategias de largo plazo para la descarbonización. DDPLAC es un proyecto académico diseñado y ejecutado por el BID,

en alianza con la 2050 Pathways Platform y la Agencia Francesa de Desarrollo, que se beneficia del conocimiento y habilidades del Instituto de Desarrollo Sostenible y Relaciones Internacionales.

A través de este proyecto, académicos y grupos de expertos de seis países han confirmado, mediante análisis rigurosos revisados por sus pares, que existen soluciones técnicas para transitar hacia cero emisiones netas de carbono y a la vez preservar el crecimiento económico. Estos análisis demuestran que la descarbonización sí es posible y que puede aportar beneficios sociales y económicos. La energía renovable es ahora más barata que los combustibles fósiles. Usar el transporte público, caminar y montar bicicleta pueden reducir la demanda de transporte privado y el enorme costo económico de la congestión vehicular. Si se electrifican el transporte y otros usos de la energía, se puede reducir la letal contaminación del aire. La intensificación de la producción agrícola, un giro hacia dietas más saludables basadas en plantas, y la reducción de la demanda de carne también podrán ayudar a reducir la deforestación y proteger los ecosistemas.

La transición hacia una economía cero emisiones netas será un desafío para el statu quo social, político y financiero. Aun cuando existan soluciones cero carbono, las regulaciones existentes y el diseño actual de los mercados pueden impedir el desarrollo de modelos de negocio rentables que incorporen dichas soluciones por parte del sector privado. En otro informe reciente, *Cómo llegar a cero emisiones netas*, hemos mostrado que los países requieren de una hoja de ruta para anticipar estos retos y efectuar la transición hacia una economía con cero emisiones netas de carbono.

Las instituciones nacionales a menudo asignan el rol del diseño de planes climáticos, en conformidad con el Artículo 4 del Acuerdo de París, a sus agencias de medio ambiente. No obstante, la implementación de tales planes cae en manos del sector privado y ministerios sectoriales. Por lo tanto, es imperativo que ayudemos a los ministerios de medio ambiente a involucrar a los demás sectores y enmarcar sus estrategias de descarbonización de tal manera que todos las puedan entender y acoger como herramientas que ayudan en el progreso de las propias agendas sectoriales.

Académicos y expertos locales pueden ayudar en el diseño de estrategias climáticas multisectoriales. Estamos apoyando a ministerios de ambiente en Chile, Colombia, Costa Rica, y Perú en sus diálogos con sectores como energía, transporte, o agrícola, sobre sus planes de descarbonización y lo que estos debieran intentar alcanzar. En estos diálogos los participantes comparten sus prioridades tales como reducir la factura energética, la congestión y la contaminación ambiental, mejorar los indicadores nutricionales o las exportaciones de alimentos, o bien construir resiliencia ante los efectos climáticos. Para poder garantizar una transición justa, los gobiernos también deberán cerciorarse de que la sociedad en su conjunto comparta los beneficios de la descarbonización, y definir medidas para afrontar las pérdidas, por ejemplo, las de los trabajadores y comunidades que hoy dependen de la extracción de combustibles fósiles. Son claves las simulaciones numéricas para cuantificar de qué manera las transformaciones sectoriales pueden reducir las emisiones de gases de invernadero a la vez que alcancen estas otras metas. Nuestro trabajo en Costa Rica ha demostrado que las estrategias climáticas pueden servir como hojas de ruta para el desarrollo y para facilitar la movilización de financiamiento internacional. El Plan Nacional de Descarbonización, que se diseñó usando como insumo resultados obtenidos de DDPLAC, tiene más de 70 metas para 35 agencias gubernamentales y ministerios. El Plan define además acciones a completar antes del 2023 para avanzar con su implementación y habilitar la transición hacia cero emisiones netas para el año 2050. Estas incluyen acciones normativas (ej. reglas para fijar precios de electricidad en estaciones de carga para vehículos eléctricos), inversiones (ej. en transporte público), y estudios (ej. evaluar opciones para financiar un sistema actualizado para pagos de servicios ecosistémicos). El BID y la Agencia Francesa de Desarrollo se asociaron para respaldar el Plan con un préstamo de USD380 millones, y más de ocho millones de dólares en subvenciones.

Para resumir, nuestra experiencia brindando apoyo a los países de la región ofrece un enfoque exitoso que otros bancos de desarrollo pueden considerar para financiar la

ambición climática. Primero, colaborar con instituciones académicas locales para construir su capacidad y cuantificar e informar el debate político en torno a la agenda climática. Segundo, convocar grupos de discusión para identificar sinergias entre la descarbonización y las prioridades de desarrollo sectorial. Tercero, usar asistencia técnica para apoyar el diseño de estrategias de desarrollo que logren la carbono neutralidad alrededor del 2050, con una hoja de ruta que contenga las reformas regulatorias e inversiones necesarias para facilitar la adopción de soluciones libres de carbono por parte del sector privado. De ahí, tanto los préstamos de inversiones, como los préstamos basados en políticas y proyectos asistencia técnica pueden respaldar los planes hacia la carbono-neutralidad.

Espero que este informe pueda contribuir a replicar estas historias de éxito en todo el mundo.

Resumen y síntesis del proyecto

Si se han de alcanzar los objetivos del Acuerdo de París 2050-2070 (AP) de mantener +1.5 - 2°C respecto a temperaturas preindustriales, tendremos que llegar a cero emisiones netas de CO₂ y lograr grandes reducciones de otros GEI. En América Latina, esto es técnicamente factible, y resultaría en beneficios en la calidad del aire al igual que económicos y sociales. El AP, por su propio diseño, deposita en los países la responsabilidad de determinar y alcanzar sus aportaciones al esfuerzo global de cero emisiones netas, y la mayor parte del poder y capacidad de lograrlo yace en sus propias manos. Las Estrategias a Largo Plazo (ELP) que se solicitan en el Acuerdo de París y el proceso para crearlas pueden ser de ayuda para la planificación, participación de los interesados y formulación del paquete de políticas que se requieren para cumplir con los objetivos climáticos de París, al mismo tiempo que se cumplan con otras prioridades de desarrollo. Desde la perspectiva de la economía en su expresión más amplia, los objetivos de reducción de emisiones más cercanos (2025-2030) y sus políticas ameritan ser realineados con el objetivo de cero emisiones netas globales antes de 2050-2070 para dirigir la política en el corto plazo y disuadir la inversión que atrapa las emisiones GEI. Las transformaciones físicas principales son: la electrificación con electricidad baja en GEI en todos los sectores factibles, incluyendo todos los edificios, la industria ligera, y el transporte personal urbano y entre ciudades; cambio de modalidad a transporte no-motorizado, y mucho mayor uso de vehículos eléctricos, respaldado por la correspondiente planificación urbana; restricción de la mayor parte de extracción nueva y en curso de combustible fósil; y, la intensificación agrícola baja en carbono combinada con reducción en deforestación y forestación. Se requerirá el uso de combustibles de cero carbono, tales como el hidrógeno y los biocombustibles, para transporte de carga, la aviación y parte de la industria pesada. Todo lo anterior demanda la implementación de políticas que abarquen toda la economía y sectores, incluyendo reducciones de manera no-exclusiva en subsidios al combustible fósil, mandatos de electrificación general, estándares de desempeño, y la construcción y carga de redes de combustibles. Todo esto requiere de políticas complementarias. Teniendo claras las prioridades nacionales, los países podrán identificar sus carencias en capacidad u otras áreas que requieran de cooperación internacional, de manera más efectiva. En el corto plazo, hasta 2025, y conscientes de la recuperación tras COVID, la actividad principal será construir consenso entre todas las partes involucradas que llevarán a cabo cambios

sectoriales, o bien, se verán fuertemente impactadas por estos. Habrá que revisar los marcos existentes de políticas y la normatividad para determinar su armonización con la meta de lograr cero emisiones netas para el 2050-2070.

Resumen del proyecto

El Proyecto Rutas de Descarbonización Profunda en América Latina y el Caribe (DDP-LAC), que incluye equipos provenientes de Argentina, Ecuador, Costa Rica, Colombia, Perú y México, se ejecutó desde principios de 2018 hasta 2020, con los siguientes objetivos. 1) La construcción de modelos de energía y emisiones que no existían previamente para permitir el establecimiento de capacidades nacionales para análisis de emisiones y objetivos de desarrollo. 2) Construcción de una comunidad de práctica regional de modelaje que no existía antes, para facilitar el compartir conocimiento con otros países y permitir que surja un abordaje regional de abajo hacia arriba para enfrentar el desafío de la descarbonización profunda. 3) Desarrollo y modelaje de una narrativa cualitativa y un escenario cuantitativo de casos de referencia, de Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y de Rutas de Descarbonización Profundas (DDP), cubriendo las fuentes de emisiones más importantes. 4) Emplear estas capacidades, abordaje y resultados para establecer una participación estructurada y sostenida con los responsables de políticas y los interesados en aras de informar los procesos de políticas del clima nacionales, sus Estrategias a Largo Plazo, y, con el tiempo, presentar las NDC revisadas al Acuerdo de París. DDP-LAC es una iniciativa del *Banco Interamericano de Desarrollo* (BID), fundada por la Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático, el Fondo Francés para el Clima del BID, la *Agence Française de Développement* (AFD) y la *Plataforma Rutas 2050*, gestionado por el *Institut du Développement Durable et des Relations Internationales* (IDDRI.org).

LECCIONES APRENDIDAS SOBRE POLÍTICAS

Chris Bataille
Yann Briand
Johannes Svensson
Henri Waisman

IDDRI

Resumen

Si se han de alcanzar los objetivos del Acuerdo de París 2050-2070 de mantener +1.5 - 2°C respecto a temperaturas preindustriales, tendremos que llegar a cero emisiones netas de CO₂ y lograr grandes reducciones de otros GEI. Esto implica transiciones rápidas y de gran alcance en la oferta y demanda de energía; en la agricultura y uso de la tierra; formas urbanas, infraestructura, modos de transporte y sistemas industriales. La mayor parte de los compromisos de reducción de emisiones actuales descritos en las NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional) carecen de la ambición suficiente para lograr los objetivos del Acuerdo de París. Esto, porque sus objetivos absolutos principales para 2025-2030 se fijaron demasiado altos; falta de detalle a nivel sectorial en términos de la transformación tecnológica y económica a perseguir, y, la ausencia de metas más allá del 2030. Por todas estas razones, los actuales objetivos de reducción de GEI de las NDC no pueden aterrizar en acciones específicas que se integren de manera efectiva a los objetivos de desarrollo para optimizar los beneficios de la transición.

Las transiciones de los sistemas a cero emisiones netas de CO₂ que vayan de la mano con un fuerte desarrollo económico y social en América Latina son técnicamente posibles, si nos centramos principalmente en las siguientes estrategias. 1) Producir electricidad cero carbono (ej. desplegar a gran escala la energía renovable combinada con flexibilidad en la red y medidas sólidas de respaldo). 2) Llevar a cabo la electrificación ampliamente expresada (ej. uso de vehículos, motores, bombas de calor, calentadores y estufas de cocina eléctricas), y, donde no sea posible, cambiar a otros combustibles libres de carbono (ej. hidrógeno o biocombustibles producidos sosteniblemente). 3) Aumentar la participación de transporte público en la movilidad total (ej. autobús o tren) y el transporte no motorizado (ej. caminar o ciclismo) y reducir la demanda de transporte. Finalmente, 4) fomentar dietas cuya producción sea más baja en carbono (ej. menos intensivas en carnes), que ayudará con 5) preservar y regenerar los sumideros naturales de carbono (ej. al reducir la deforestación vinculada al ganado y promover la forestación) y restaurar otros ecosistemas ricos en carbono. Todo esto se puede hacer a la vez que se aumenta el número y calidad de empleos y bienestar general.

Existen grandes beneficios potenciales al transitar hacia cero emisiones netas, notablemente: mejoría en la calidad del aire, menor congestión, aceleración macro-

económica impulsada por la inversión, creación de empleos, servicios de ecosistemas mejorados y conservados, y reducción en costos por demoras en la acción climática (ej. activos de larga vida en infraestructura y energía elegidos desafortunadamente, que deberán ser desechados antes de culminar su vida útil si hay que cumplir con los objetivos de reducción de emisiones). No obstante, también hay retos: las crecientes necesidades de transporte y energía; enfrentar condiciones de gobernanza e incentivos en el uso de suelo; la actual dependencia de los ingresos provenientes del carbón, del petróleo y del gas, y; acceso al financiamiento. **En este sentido, las Estrategias a Largo Plazo (ELP) que se piden en el Acuerdo de París pueden convertirse en instrumentos útiles para informar la creación de NDC más ambiciosas y los paquetes de políticas que se requieran para cumplir con los objetivos del clima y otras prioridades de desarrollo.** El ejercicio de planeación de ELP en el largo plazo puede ayudar a adelantarse a algunos retos o áreas en que la transformación hacia un futuro de cero emisiones netas podría dañar algunos segmentos de la sociedad, permitiendo así tiempo para construir soluciones, inclusive mediante el diálogo social. Además, las ELP pueden dar información sobre cómo optimizar los beneficios del desarrollo, considerando opciones tecnológicas y tiempos necesarios para su despliegue, lo cual impulsa los beneficios y reduce los costos con referencia a la meta máxima de cero emisiones netas para el año 2050. La meta final de una ELP es la de crear una hoja de ruta para las reformas políticas y las inversiones requeridos para alcanzar una economía descarbonizada para alrededor del año 2050. Los efectos a largo plazo de las elecciones de infraestructura y equipamientos, al igual que los impactos sociales y económicos de las políticas de transformación, deben anticiparse cuidadosamente.

El proyecto Rutas de Descarbonización Profunda en América Latina y el Caribe (DDP-LAC), puesto en marcha por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), fundado por la Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático del BID, el Fondo Francés para el Clima del BID, la Agence Française de Développement (AFD) y la Plataforma Rutas 2050, y gestionado por el Institut du Développement Durable et des Relations Internationales, fue diseñado para ayudar a construir capacidades locales para investigar y diseñar las ELP sobre una sólida base científica e integradas en el diálogo nacional de políticas. Reunió

a equipos académicos de los países de Argentina, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, y Perú, convocándoles a: desarrollar capacidad para el desarrollo de energía y modelaje de uso de suelo, construir una comunidad de modelaje, desarrollar proyecciones iniciales de NDC y de DDP, o Rutas de Descarbonización Profunda, y empezar con el proceso de involucrar a los interesados, particularmente a los responsables de políticas, con miras a ayudar a establecer ELP congruentes con el Acuerdo de París. A continuación presentamos los mensajes políticos sectoriales relevantes de toda la economía, resultado del trabajo de los equipos.

Desde la perspectiva amplia de la economía, las metas y políticas de emisiones para el corto plazo de 2025-2030 tendrán que ser realineados con las cero emisiones netas globales antes del 2050-2070 para dirigir la política a corto plazo y disuadir la inversión que encajona las emisiones GEI. Los gobiernos pueden reducir los subsidios a los combustibles fósiles, reasignando los impuestos sobre consumo existentes de conformidad con la intensidad del carbono en combustible y a la vez brindar el financiamiento disponible para inversiones estratégicas, como son la electricidad baja en GEI y la infraestructura urbana de transporte. A todos los sectores se les deberá animar a electrificar o cambiar a combustibles de cero emisiones netas (ej. mediante los estándares de tecnología y desempeño y fijación de precios basada en la intensidad de carbono). El desarrollo de una ELP puede ayudar a identificar las prioridades de inversión y política, que a su vez podrán facilitar con el tiempo un equilibrio más efectivo de los ingresos y egresos netos gubernamentales. Esto, conforme los ingresos por extracción de combustibles fósiles y los subsidios al consumo de los mismos disminuyen simultáneamente.

En el corto plazo, hasta 2025, y conscientes de la recuperación del COVID, la actividad fundamental será la de construir consenso entre los actores, quienes estarán o a cargo de o altamente afectados por los cambios sectoriales, y revisar los marcos políticos existentes y la normatividad para garantizar que sean congruentes con alcanzar cero emisiones netas para 2050-2070. Camino ya hacia el 2030, debe comenzar a implementarse la política para la inversión física en la electrificación general y el transporte limpio; si se hace bien, la transición puede traer quince millones de empleos netos en la región para el 2030, y generar beneficios que representen varios puntos porcentuales del PIB tan solo al evitar la actual pérdida de productividad en la congestión y los impactos de salud, resultado de la contaminación, todo esto, se espera, alentando la recuperación del COVID.

Del punto de vista de los sectores clave estudiados en nuestros países ALC, un paso sincero hacia la gestión de la crisis climática para limitar lo más grave de sus impactos requerirá de acción inmediata en las siguientes áreas clave:

- Dado el papel que juega la electrificación limpia para el transporte privado, la industria ligera, residencias y comercio, **la producción de generación eléctrica y la intensidad de los GEI deben estar alineados con la meta a largo plazo de cero emisiones netas para 2050-2070 a nivel nacional, tomando pasos en esa dirección desde ahora.** En vista de la vida útil de las plantas generadoras de electricidad, esto se traduce a exigir, mediante políticas apropiadas para cada país, que toda la generación nueva de electricidad sea de baja o cero emisiones, ej. solar, eólica, geotérmica de circuito cerrado, nuclear, hidrógeno limpio, o combustibles fósiles con 95+% de captura y almacenamiento de carbono. Otras fuentes, de emisiones más altas, como por ejemplo las turbinas de gas, solamente deberán considerarse cuando su propósito expreso sea respaldar fuentes renovables variables, y deberá existir un plan a largo plazo para transitar hacia el hidrógeno o el gas natural renovable, o bien, reemplazarlos con otras fuentes de generación estables de cero emisiones. La planificación moderna y la inversión en renovables de alta variabilidad con el adecuado respaldo energético estable deberán acompañar esta transición, ej. se sabe que sí se puede lograr el 70-80% de energía eólica y solar (en Europa ya están obteniendo 40-60%), pero solo será con buena planeación, señales de precio de uso final sensibles al tiempo, suficientes interconexiones, e inversión en energía limpia estable. Si bien hay un cambio transformador en la estructura y energía de la economía, la electrificación de uso final trae consigo importantes beneficios en la calidad del aire local en espacios cerrados y espacios urbanos congestionados, ambos temas críticos en América Latina.
- Para poder alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, globalmente los países tendrán que paulatinamente eliminar su uso de carbón, petróleo y gas, o usar técnicas de captura de almacenamiento de carbono para mediados de siglo, poniendo en peligro la producción en ALC, tanto para exportación como para uso doméstico. **Se deberá limitar la inversión en producción nueva de combustibles fósiles en ALC, preparando en cambio planes para eliminar paulatinamente la producción actual de manera prudente, conscientes del impacto de la transición sobre las finanzas del gobierno.** Se deben preparar con antelación planes que permitan gestionar los impactos fiscales y de empleo, incluyendo la reforma impositiva, para dar lugar a políticas y contingencias adaptivas. Una ELP puede ayudar a alimentar

esta conversación, que debe ser una prioridad clave a corto plazo para los responsables de política, anticipándose a los desafíos y facilitando la planificación a futuro para una transición más pareja para las finanzas públicas y los empleos.

- Los gobiernos nacionales, regionales y municipales podrán considerar emplear la planificación del uso del suelo y del tránsito para fomentar los viajes no-motorizados, de alta ocupación, y de emisiones bajas. Una prioridad central es hacer obligatorio el uso de motores de cero emisiones (batería, celdas de combustible, o combinaciones híbridas) para vehículos que operan en entornos urbanos tan pronto sea posible, enfocándose primeramente a los autobuses y camiones de alto nivel de contaminación del aire (ej. el requerimiento de Ecuador que todos los autobuses nuevos sean eléctricos para el 2025). Esto requerirá fijar estándares para redes de carga y combustible, su construcción y financiamiento, y habilitar modelos de financiamiento y negocios que atiendan el mayor costo inicial de estos vehículos.
- Todos los niveles de gobierno tendrán que ayudar a los agricultores a practicar la agricultura intensiva sostenible, y a asignar e implementar los derechos del uso de tierra –quizás esto sea lo más difícil debido a los retos del gobierno, pero de vital importancia debido a la importancia regional relativa de las emisiones de GEI provenientes del sector AFOLU (de hecho, casi la mitad de las emisiones de ALC) y del valor de la biodiversidad de los bosques de ALC. Esto fomentará la reducción de la deforestación, al que se le deberá agregar la forestación comercial para amortiguar y ampliar la ya alta biodiversidad existente y los sumideros de carbono. Promover un giro hacia dietas bajas en carbono, por ejemplo, menos intensivas en carne, también reducirá las presiones de la deforestación. La participación activa en negociaciones internacionales para crear una estructura de incentivos internacionales que sea duradera para todos los países para optimizar su uso de suelo como sumideros es una condición de activación necesaria a largo plazo.

El Acuerdo de París, por su mismo diseño, pone a los países firmemente al volante, dejándoles la decisión de cómo definir y hacer cumplir su aportación al esfuerzo global cero emisiones. La capacidad de lograrlo yace en sus manos. Gran parte de la tecnología ya existe y está comprobada, particularmente en el transporte, los edificios y la producción de electricidad; cada vez es más económica, gracias a las economías de escala globales y la innovación. Entre más los países trabajen en la misma dirección al mismo tiempo, más pronto caerán los costos. Para que la mayoría de los sectores puedan impulsar estas tecnologías en el mer-

cado, se requiere de un diseño de política y regulación cuidadosos, especialmente a nivel sector y tomando en cuenta la política fiscal nacional. Con respecto a las necesidades de financiamiento para nuevo transportes e infraestructura de energía, hay suficiente capital y capacidad de crédito en los países; los fondos públicos y el dinero del sector privado podrían financiar gran parte. El desafío será el de redirigir los flujos existentes hacia inversiones limpias y alejarlas de la infraestructura energética intensiva con altos niveles de GEI (carbón, petróleo, gas). Con buena planeación, una ELP bien diseñada puede ayudar a aclarar y priorizar las inversiones marginales redirigidas y las políticas requeridas. Sin embargo, todo esto demandará capacidad institucional y gobernanza fortalecida en sus múltiples niveles.

Ya teniendo en claro las prioridades nacionales, los países podrán entonces determinar dónde hay carencias de capacidad u otras áreas que necesitan de cooperación internacional, y podrán ser más efectivos en la tarea. Lo más obvio sería un esfuerzo colectivo para comercializar o abatir el costo de las tecnologías clave, y ponerlas a la disposición de quienes las necesiten, por ejemplo, el almacenamiento de energía; el hidrógeno limpio de bajo costo; tecnologías industriales cruciales para el acero, cemento, químicos, minería, etc. Los países podrán necesitar dirección sobre el diseño de instrumentos políticos para el sistema de planificación, crecimiento y estabilización de la electricidad altamente renovable. Aún otra área clave de movilización es la de los recursos para reducir la deforestación y aumentar la forestación. En algunos casos, esto es tema de la voluntad política nacional, el hacer aplicar las reglas existentes, y establecer nuevos derechos de uso de tierra, particularmente en lo referente a pueblos indígenas; no obstante, en otros casos la inyección de capital internacional para costear (o al menos valorar) la forestación comercial a gran escala permitiría la protección de los bosques y la puesta en marcha de programas de forestación que van más allá de los recursos y la motivación intrínseca de los gobiernos y actores nacionales.

Para poder identificar las rutas hacia la acción nacional y las ELP, al igual que lo que se habrá de requerir de la acción global coordinada, se requerirá de sostener un diálogo continuo con todos los actores a cargo de implementar la transición, o que de alguna manera se vean afectadas por ella. Ni la ELP ni el desarrollo de un paquete de políticas a corto plazo podrán convertirse en ejercicios únicos; conforme los intereses se empiecen a adaptar, las tecnologías evolucionan

y disponemos de nueva información, el plan nacional y el paquete de políticas derivado de este tendrán que ser revisitados y sometidos a revisión.

En tanto que los resultados de arriba son mayormente congruentes entre los seis países, tenemos algunos resultados puntuales por país que resaltar. Tome en cuenta que muchos de estos se aplican en varios grados a otros países y sociedades globalmente.

Argentina

- Como ningún otro en América Latina, Argentina cuenta con la capacidad de una industria de energía nuclear nacional como opción para desarrollar electricidad limpia estable en apoyo de las variables renovables, aunque esto requiere lograr una estrategia energética dirigida.
- Actualmente hay un fuerte compromiso con el desarrollo de las reservas de gas de Vaca Muerta en Argentina, aunque esto tiene sentido en un mundo bajo en carbono solamente si la captura de carbono y su utilización y almacenamiento se desarrollan ampliamente a un costo razonable.
- Entre sus rutas de descarbonización profunda, el equipo argentino ha identificado un escenario singular en el que Argentina alcanza un estándar de vida per cápita comparable con el de Europa para 2050 y descarbonización cero emisiones netas mediante una reestructuración económica y aumento de su valor en relación al actual enfoque de exportación de productos básicos.
- Ahora bien, debido a las cuantiosas emisiones de metano a raíz de la cría de ganado, bajo todos los escenarios (las emisiones de metano tendrán que caer en 50% para el año 2050 de conformidad con los escenarios 1.5°C del Informe Especial del IPCC), se requiere de un esfuerzo concertado para reducir la deforestación y llevar a cabo altos niveles de forestación para llegar a emisiones GEI nacionales coherentes con 1.5° a 2°C de aumento.

Ecuador

- Si bien hoy Ecuador cuenta con abundante energía hidroeléctrica, se requerirá de una amplia electrificación para diversificar su acceso a fuentes de energía limpias y estables, aunado a la hidroenergía, para poder complementar el uso futuro de fuentes variables y asequibles de renovables.
- Se encontró que es necesario llevar a cabo el desarrollo de la industria de la bioenergía para llegar a una descarbonización profunda, particularmente para el transporte de carga y para producir energía limpia estable.
- Un ambicioso programa de forestación podrá evitar la dependencia en tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) que sean inmaduras, arriesgadas y costosas, en el sector energético.

- El equipo ecuatoriano exploró diversos escenarios con distintos presupuestos para carbono y las implicaciones de incluir y excluir los flujos CO₂ de AFOLU. Al igual que con todos nuestros países ALC, hay profundas implicaciones políticas cuando el país incluye sus flujos de uso de tierra típicamente negativos en CO₂ en su presupuesto de carbono o los asigna al sumidero global. Para que ocurra lo último, sin embargo, se requerirá de emplear mecanismos internacionales de incentivos.

Colombia

- El equipo colombiano enfatiza que controlar la deforestación –que se incrementó tras el acuerdo de paz con la FARC ya que permitió mayor acceso a más territorio del país– es crucial para reducir las emisiones.
- El equipo también encontró que es importante hacer la distinción entre gases GEI CO₂ y no-CO₂ (el Informe Especial IPCC 1.5°C requiere aproximadamente -50% CH₄ y -1/3 N₂O en emisiones, ambos GEI claves para la agricultura). Del lado de la demanda, se ha identificado que cambios en la dieta y la reducción en el uso de fertilizantes son cruciales para gestionar los GEI agrícolas. Las emisiones agrícolas se reducen de manera modesta en sus tres escenarios, ya que el sector debe proporcionar alimentos mientras tanto y cumplir con la demanda de energía eléctrica en un contexto en el que el comercio internacional cobra importancia. Las políticas nacionales, cooperación internacional, consciencia en el consumidor, y la educación de los agricultores son importantes para enfrentar directamente el tema de estas emisiones.

Costa Rica

- Costa Rica es uno de los países más avanzados en el mundo en el tema de la descarbonización cero emisiones netas, el compromiso de los actores, la planificación, el desarrollo de paquetes de políticas, en lo que respecta a la estructura económica existente al igual que la aspiracional (el turismo y la agricultura de alto valor basados en la biodiversidad) y los desafíos que imponen de su desarrollo (congestión del transporte y problemas con la calidad del aire urbano).
- Costa Rica también es un modelo a seguir con el uso de suelo de sumideros de carbono, habiendo incrementado la cobertura forestal de <30% en la década de 1980 a casi 60% hoy en día, en parte por el deseo de fomentar su comercio turístico. Su principal reto de la descarbonización es ahora el transporte, al que desean atacar mediante cambios de modalidad y la electrificación vehicular urbana e interurbana, una estrategia común en nuestros escenarios ALC DDP.

México

- Los planes actuales para el cambio climático en México, al igual que la política energética más reciente, subrayada en su NDC (Government of Mexico, 2015), la Estrategia de Medio Siglo (SEMARNAT-INECC, 2016), y la Estrategia de Transición de la Energía (SENER, 2020), tienen por objeto reducir la intensidad de las emisiones por PIB, pero dibujan un camino hacia el 2050 que puede resultar en mayores emisiones absolutas que hoy. El enfoque reciente en importaciones a largo plazo de gas de los EUA y la construcción de la nueva capacidad de refinería nacional pueden terminar fijando niveles no sostenibles de emisiones GEI.
- Sin embargo, la enorme riqueza en México de energía solar y renovables de biomasa, su base industrial, ubicación geográfica, y fuerza laboral calificada hacen de una transformación hacia cero emisiones netas – lo cual debe ocurrir a escala global – una oportunidad para avanzar hacia una economía de alta tecnología basada en conocimiento que catalice el crecimiento económico, aumente la prosperidad, sea menos vulnerable a los precios mundiales de combustibles fósiles, y que produzca mayor inclusión.

Perú

- Perú es sumamente vulnerable al cambio climático, y sus dos aportaciones principales probablemente sean las de minimizar la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) al igual que las emisiones por transportes personales conforme se desarrolle.
- Las NDC actuales de Perú para acciones políticas sobre AFOLU apuntan en el sentido correcto pero requieren de mucho refuerzo. Por ejemplo, 1) La Gestión Sostenible de Concesiones Forestales; 2) Mejorar la gestión forestal en comunidades nativas; 3) Incentivar a las comunidades nativas para la conservación forestal; 4) Mejorar la gestión de Áreas Naturales Protegidas; 5) Asignación de derechos de uso en áreas en las que no existen; 6) Añadir plantaciones forestales comerciales.
- Hay una compensación entre la reducción de la deforestación, la forestación y la producción de alimentos que se debe anticipar y planificar.

Introducción

La meta del Acuerdo de París de mantener el aumento de la temperatura mundial a 2.0°C y proseguir a limitarlo a 1.5°C en relación a los niveles preindustriales requiere de alcanzar las cero emisiones netas de dióxido de carbono (CO₂) para 2050-2070, al igual que profundas reducciones en las emisiones de otros gases de efecto invernadero (GEI) (Edenhofer *et al.*, 2014; Masson-Delmotte *et al.*, 2018). En el presente informe sobre políticas, nos centraremos en la meta aspiracional de 1.5°C: las acciones políticas necesarias no difieren tanto como el tiempo para alcanzar la meta de cero emisiones CO₂ netas o la escala de la necesidad de emisiones negativas netas a nivel global.

Sí es técnicamente posible alcanzar cero emisiones netas de CO₂ (Clarke *et al.*, 2014; Fay *et al.*, 2015; Bataille, H. Waisman, *et al.*, 2016; Bataille, Henri Waisman, *et al.*, 2016; Davis *et al.*, 2018). Dadas las circunstancias regionales, las transiciones hacia sistemas cero emisiones netas en América Latina se enfocarán principalmente en las siguientes estrategias: producir electricidad cero carbono (ej. energía renovable combinada con respaldo estable de energía y flexibilidad en la red); llevar a cabo una amplia electrificación (ej. utilizando vehículos, motores, bombas de calor y calentadores, y estufas para cocinar eléctricos), y de no ser posible, cambiar a otros combustibles libres de carbono (ej. usar hidrógeno u otros biocombustibles que se produzcan de manera sostenible); aumentar la participación en el transporte público (ej. autobuses o tren) y emplear el transporte no motorizado (ej. caminar, ciclismo) en la movilidad total y reducir la demanda de transporte; preservar y regenerar los sumideros naturales de carbono (ej. al reducir la deforestación y promover la forestación) y restaurar otros ecosistemas ricos en carbonos.

Existen grandes beneficios potenciales vinculados a la transición a cero emisiones netas: se mejora notablemente la calidad del aire, se reduce la congestión, hay creación de empleos, y se mejoran y conservan los servicios del ecosistema. La transformación para alcanzar cero emisiones netas para el 2050 puede crear oportunidades económicas sostenidas e inmediatas. A manera de ejemplo, la OCDE (2017) sugiere que tomar acción decisiva ahora para descarbonizar, de ser acompañada de políticas estructurales, podría incrementar el PIB en 2050 en hasta un 2.8% en promedio en los países G20. La Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, 2019) argumenta que un giro a gran escala de la energía renovable para generar electricidad impulsaría globalmente el producto interno bruto (PIB) en 2.5% y el empleo total por 0.2% para 2050. La descarbonización no tiene que llevarse a cabo a costa de empleos y crecimiento.

Para el 2030, en un escenario bajo de cero emisiones netas de carbono, los cambios estructurales en los patrones de producción y consumo podrían proporcionar unos 15 millones más de empleos en América Latina y el Caribe, comparado con un escenario de “*business-as-usual*” (Saget, Vogt-Schilb y Luu, 2020). Las ganancias proyectadas en empleos serían mayormente el resultado de cambios en las dietas, los mismos que conducirían a más empleos en el sector agrícola, y en menor grado la descarbonización del sistema energético.

Cuando se posterga o falta acción para la descarbonización se paga un precio alto. Los costos de las tecnologías cero carbono están bajando rápidamente, y el “*business as usual*” se torna más costoso y está más expuesto a riesgos de transición, incluyendo volverse más costoso y estar expuesto a riesgos de transición, como son los activos abandonados; la energía eólica y solar, respaldadas por baterías de almacenamiento a corto plazo, ya son las más asequibles en generación nueva de energía en muchas partes del mundo (International Renewable Energy Agency, 2020), a menudo menor que el costo operativo de las plantas de carbón y gas, y los costos siguen abatiéndose al momento de este escrito. En el ámbito global, una ruta alineada inmediatamente con la meta global de alcanzar cero emisiones netas para 2050-2070 requeriría de 84% menos retiros prematuros de capacidad de generación y adicionar 56% menos de capacidad nueva para 2030 para alcanzar la meta de 2°C, comparado con la ruta basada en las NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional) actuales (Iyer *et al.*, 2015). Para cumplir con los presupuestos actuales de carbono del IPCC, 10%–16% de las plantas de energía existentes a base de combustibles fósiles tendrían que cerrar antes de cumplir con su vida útil técnica (González-Mahecha *et al.*, 2019); construir más plantas de energía a base de combustibles fósiles en la región podría socavar el logro de los objetivos de temperatura del Acuerdo de París. El IPCC (2018) no encontró ninguna ruta que logre las NDC actuales y luego descarbonice a tiempo para quedar por debajo del 1.5°C. En ALC, implementar las NDC actuales y luego corregir el curso en 2030 para alcanzar la neutralidad de carbono para 2050 crearía activos abandonados en el sector energético que se acercarían a los 90 miles de millones de USD (Binsted *et al.*, 2019). Hacer esto también requiere de 100 miles de millones de USD más en inversiones en plantas energéticas que una transición a partir de metas NDC más ambiciosas en 2020. Una transición apresurada y desordenada para corregir la situación después del 2030 simplemente implicaría costos onerosos para las economías y sociedades — y probablemente aún así no se alcanzaría la meta de 1.5°C.

El Acuerdo de París opera mediante actualizaciones iterativas de las NDC que deben ser basadas en las Estrategias a Largo Plazo (ELP). La ronda actual de promesas para reducir emisiones descrita en las NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional) presentada en torno a la COP21, no son lo suficientemente ambiciosas para lograr las metas del Acuerdo de París, en parte debido a la ausencia de metas más allá del 2030 (PNUMA, 2018). El IPCC (2018) indica que las NDC actuales permitirán emisiones de 52-58 Gt CO₂e en 2030, en contraste con la cantidad de 25-30 Gt CO₂e necesaria para alcanzar la meta de 1.5°C. La creación de políticas, leyes e inversiones para respaldar la implementación de las inadecuadas metas existentes a corto plazo podrían conducir a obstáculos técnicos y económicos para lograr las metas del Acuerdo de París a largo plazo. La investigación llevada a cabo por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) demuestra que en América Latina y el Caribe, las NDC no logran colocar a la región en una ruta de bajas emisiones que sea económicamente prudente para lograr los objetivos del Acuerdo de París (Binsted et al., 2019).

Se necesitan estrategias específicas por país para optimizar las sinergias entre reducciones profundas de emisiones y el desarrollo sostenible. La descarbonización profunda de los sistemas de energía y uso del suelo pueden complementar los logros de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular la seguridad de la energía, la calidad del aire, la igualdad y el crecimiento macroeconómico (Waisman et al., 2019). Ahora bien, esto solo será posible si se diseñan acciones para reducción de emisiones tomando muy en cuenta las metas, retos, oportunidades y circunstancias nacionales de cada país con referencia al clima y el desarrollo. Estos resultados globales se aplican a América Latina y el Caribe (Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y DDPLAC, 2019), y los beneficios socioeconómicos de la descarbonización podrán cobrar aún más relevancia en este contexto dadas las poblaciones que crecen vertiginosamente, volviéndose más urbanas. Lo que es más, las inequidades sociales estructurales en esta región, y la exposición de la población más vulnerable ante la transición y los riesgos del clima físico implican la necesidad de diseñar estrategias específicas.

Las estrategias a largo plazo (ELP) pueden ayudar a aterrizar NDC y políticas más ambiciosas al establecer una visión de país basada en los resultados específicos del desarrollo vinculados a la descarbonización profunda para mediados de siglo e identificar las rutas sectoriales para alcanzar estas metas. Las ELPs también pueden ayudar a: dirigir la reorientación de elecciones de infraestructura y el diseño de planes de in-

versión para lanzar la transición; construir hojas de ruta de políticas para gestionar las barreras normativas a la descarbonización; ayudar a prever y gestionar impactos fiscales; y, auxiliar a los gobiernos en la gestión de los impactos sociales de la descarbonización para garantizar una transición justa e incluyente. De manera importante, el proceso de construir una ELP puede servir de apoyo en obtener información crítica de los interesados y también construir su base de conocimiento y nivel de confort con las transiciones físicas y las políticas necesarias.

En años recientes han surgido varios principios centrales para guiar la elaboración de estrategias a largo plazo (Waisman et al., 2019):

- Comenzar con la idea de cero emisiones netas en mente; desde ese futuro deseable, mirar hacia atrás o llevar a cabo un *back-casting*, para así identificar políticas y programas que conectarán ese futuro específico a las acciones presentes.
- Sondar a los interesados, especialmente aquellos que se verán críticamente afectados o estén a cargo de implementar la transición, al igual que a los expertos en potenciales estrategias nacionales y sectoriales diseñadas para alcanzar la meta de cero emisiones netas;
- Cuantificar, comparar y contrastar estas estrategias de manera integral para construir rutas comunes al usar el proceso para cimentar conocimiento y consenso entre los interesados;
- Por último, preparar paquetes de políticas adaptivas con roles y tiempos muy claros para que los interesados logren alcanzar las rutas.

Estos son los principios que dirigieron el diseño del proyecto Rutas de Descarbonización Profunda para América Latina y el Caribe (DDPLAC)¹ dirigido por el BID, en alianza con la Plataforma Rutas al 2050 y la *Agence Française de Développement* (AFD), y tomando de la experiencia del Instituto de Desarrollo Sostenible y Relaciones Internacionales (IDDRI.org). Bajo este proyecto, las universidades nacionales y grupos de expertos (*think tanks*) de seis países de ALC (Argentina, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, y Perú) investigaron rutas nacionales de descarbonización. Los equipos usaron modelos para describir los sistemas de la energía, agricultura y uso de suelo, y construir una alianza con los expertos internacionales; así pudieron crear una plataforma de intercambio entre pares y discutir escenarios diversos de descarbonización con responsables de políticas, sociedad civil, y otros interesados en sus países.

¹ Más detalles acerca de este proyecto "Cómo Llegar a Cero Emisiones Netas: Lecciones de América en Latina y el Caribe" (Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y DDPLAC, 2019) al igual que la edición especial de *Energy Strategy Reviews*, con una síntesis grupal (Bataille et al., 2020) y otros estudios de país relacionados.

Cómo revisar las NDC para que sean acordes con las metas a largo plazo

Si bien se reconoce ampliamente que las NDC actuales no son lo suficientemente ambiciosas para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, y además llevarán a un calentamiento global de alrededor de unos 3°C para fines del siglo (Hausfather y Peters, 2020), estas valoraciones de alto nivel no nos informan directamente cómo revisar de manera concreta las NDC de los países individuales para que estén más alineadas con la meta global para el clima.

El análisis efectuado en el proyecto DDPLAC, en el que los equipos de los países simularon las NDC y las rutas de descarbonización profundas usando modelos desarrollados ex profeso, nos brindan la pauta.

En la **Figura 1** los escenarios de las DDP (Rutas de Descarbonización Profunda) describen trayectorias de emisiones acordes a la meta global para el clima hacia 2050 y los hitos en 2030, por lo tanto comprenden referentes contra los que se pueden evaluar las NDC. **Las emisiones por persona en las corridas de las Rutas de Descarbonización Profunda (DDP) son típicamente 25-33% menos en el 2030 comparado con las corridas de las NDC;** la NDC original de Costa Rica cumplía con los 2°C, pero ya revisaron su ambición para fijar la meta de 1.5°C. Asimismo, el análisis DDP permite que la conversación sobre políticas llegue a un paso adicional al proporcionar una referencia para evaluar la escala de las transformaciones sectoriales clave que se tienen que dar si el mundo ha de seguir una ruta compatible con el Acuerdo de París.

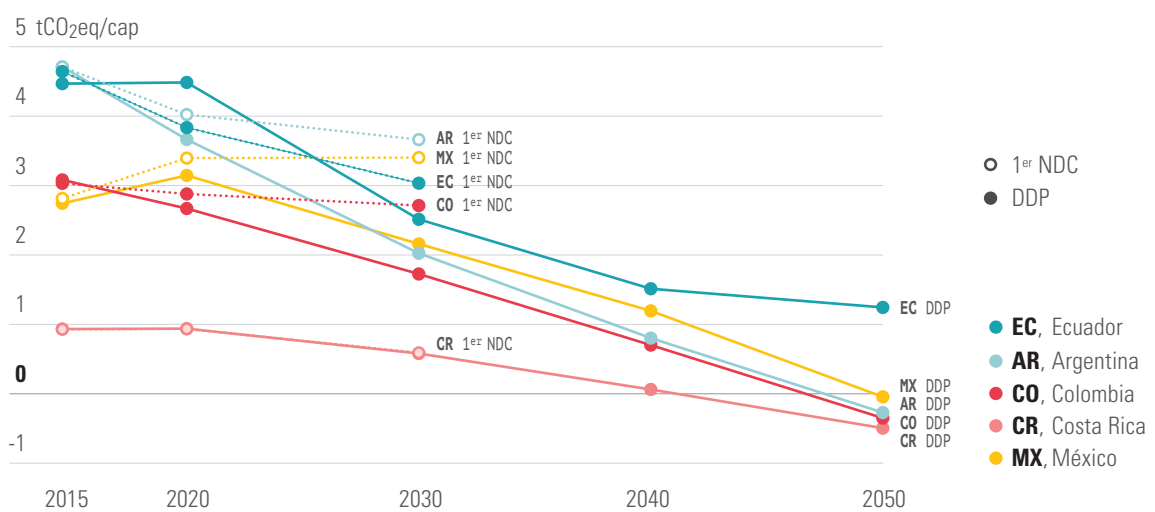
Esta información ofrece una guía concreta para revisar las NDC, e indica dónde se requiere aumentar el esfuerzo del país; esto será crucial para facilitar la implementación de las NDC.

Específicamente hablando, además de los escenarios DDP desglosados por sector, la mayor parte de los equipos de país han desarrollado un escenario NDC actual que proporciona un panorama sectorialmente detallado de las transformaciones que demandan las metas NDC actuales. La comparación de esto con el escenario DDP detallado podrá ayudar a los gobiernos a priorizar dónde habrá que buscarse experiencia sectorial para poder revisar su ambición NDC hacia el cumplimiento a largo plazo con las metas de París y las políticas requeridas para lograr esta ambición.

Para cada indicador físico que caracterice la transformación, asociamos una medida del "porcentaje del esfuerzo 2015-2050", calculada como la relación entre la variación de este indicador entre 2015 y 2030; luego, la variación entre 2015-2050 en el escenario DDP. Esta comparación de relación entre el escenario NDC y el escenario DDP ayuda a identificar las dimensiones principales en que la ambición es insuficiente. Aquí presentamos algunas ilustraciones de estas comparaciones para los indicadores clave en la energía, el transporte y el uso del suelo.

Para la energía, nos enfocamos en la producción de electricidad, ya que la electrificación es, en todo caso, un pilar clave para la descarbonización. Diferenciamos

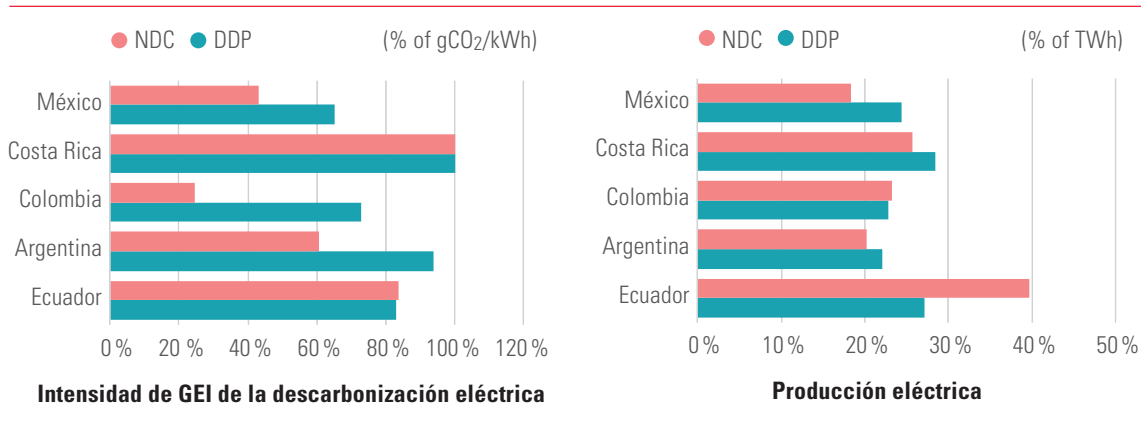
Figura 1. Emisiones de CO₂ por combustión proyectada (no incluye proceso) y AFOLU en NDC y DDP, excluyendo otros GEI



entre dos sub-componentes: el contenido de carbono y el volumen de producción (Figura 2). El primero se supone que se reducirá dramáticamente, y el segundo aumentará sustancialmente en escenarios compatibles con París. En tres países, Colombia, México y Argentina, tal parece que la intensidad de GEI en la tasa de generación de descarbonización implica que la NDC es mayormente insuficiente, y sugiere la creación de activos abandonados. En otros dos países, Ecuador y Costa Rica, no obstante, la descarbonización de la electricidad en la NDC está bien alineada con los requerimientos de DDP. En Costa Rica, la producción de electricidad ya está completamente descarbonizada (partiendo de una base ya muy baja en carbono). En Ecuador, el sistema de electricidad también ya está muy descarbonizado en la NDC, debido a expansiones recientes de su flota hidroeléctrica; también hay que tomar en cuenta

a partir de la cifra de demanda que la electrificación juega un papel menos importante para la descarbonización que en otros países. La cifra de producción de electricidad muestra que, a primera vista y cálculo, las proyecciones de demanda/generación de energía en la NDC concuerdan bien con la escala proyectada en la DDP, la excepción siendo México. En resumen, la cantidad de energía proyectada a estar disponible en el año 2030 no es un tema apremiante – sin embargo, sí lo es la intensidad GEI de su producción. En este aspecto, Argentina, Colombia y México varían solamente entre 40 a 60% de la intensidad GEI necesaria en la descarbonización para el 2030 en sus NDC. Dicho de manera sencilla, estos países no planean descarbonizar su existencia de electricidad a un paso suficientemente rápido – confirmando a escala país los resultados de Binsted *et al.*, (2019).

Figura 2. Porcentaje del esfuerzo en descarbonización de electricidad DDP en gramos CO₂/kWh y de producción en TWh logrado en 2030 en los escenarios NDC y DDP



Notas: Las cifras proporcionan una medida relativa de: 1) la intensidad GEI de la descarbonización, y 2) el aumento de producción en escenarios NDC y DDP al dividir el cambio del 2020 al 2030 en el escenario DDP por la del actual escenario NDC.

Figura 3. Sector transporte: porcentaje del esfuerzo en descarbonización hasta 2030 alcanzado en los escenarios

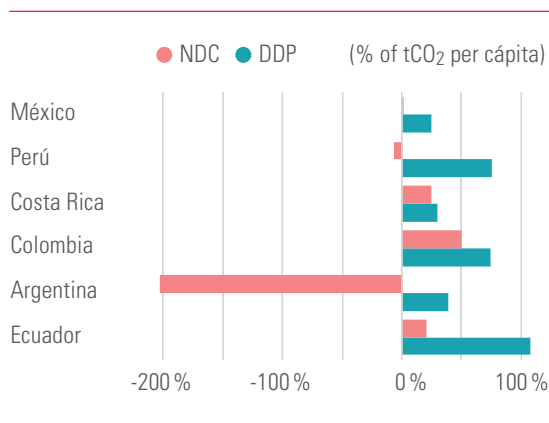
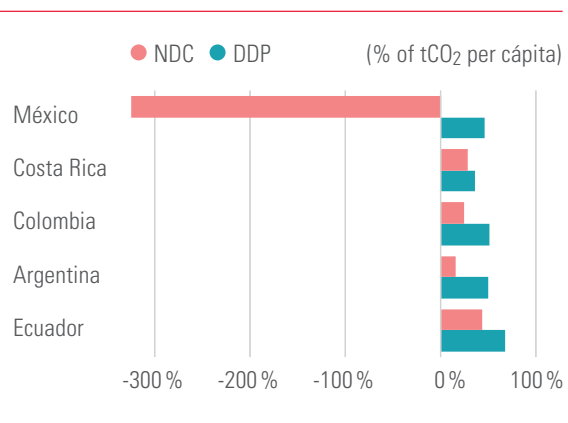


Figura 4. Sector AFOLU: porcentaje del esfuerzo en descarbonización hasta 2030 alcanzado en los escenarios



El transporte de pasajeros es un tema importante para mejorar las NDC (**Figura 2**). En casi todos los países, salvo Costa Rica y hasta cierto grado Colombia, el ritmo del esfuerzo es mayormente insuficiente o hasta da marcha atrás en la NDC en el caso de Argentina y Perú. La demora en acción en las NDC refleja una combinación de medidas insuficientes para incentivar la difusión de vehículos bajo en carbono, notablemente para transporte en caminos, para facilitar un giro modal hacia modos de transporte bajo en carbono, y para controlar la demanda de movilidad. Estas acciones suponen inercias potencialmente importantes vinculadas a la planificación del uso del suelo y despliegue de infraestructura; la demora en los resultados NDC implica el bloqueo de emisiones potencialmente altas. Por último, el sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU, 1/3 del total de GEI) representa probablemente el reto más difícil desde la perspectiva de la

economía política ya que el tema aquí no es la tecnología, sino los incentivos para el uso del suelo. En esto el análisis indica que la acción carece por mucho de la ambición requerida (**Figura 4**), y en algunos casos hasta la direccionalidad está completamente ausente. México es un caso particularmente problemático, ya que las emisiones AFOLU van en aumento en la NDC. Lamentablemente, Perú, nuestro estudio AFOLU más avanzado, no contaba con un escenario NDC para fines de comparación. Dadas las dependencias de ruta en este sector, las NDC representan un riesgo para la capacidad a largo plazo de los sumideros naturales de carbono. A raíz de la importancia de la región ALC en capacidad global de uso del suelo como sumideros, mejorar el componente AFOLU en las NDC es un área crucial para la aplicación de políticas y de cooperación global, en vista de los costos potenciales de la forestación.

Cómo pueden las Estrategias a Largo Plazo ayudar con el desarrollo de políticas en el mundo real

Cómo es que el proceso de desarrollo de las ELP puede favorecer aceptación por parte de los actores

Idealmente, todos los países de ALC, al comprometerse con el Acuerdo de París, se han comprometido a la meta de cero emisiones netas globales para el 2050-2070 para así cumplir el objetivo de 1.5-2°C de temperatura, lo cual sugiere firmemente que las metas para el clima y el desarrollo nacional, sub-nacional y sectorial tendrán que ajustarse para incluir las cero emisiones netas GEI más adelante en este siglo. Pero, ¿qué significa esto para cada país de ALC y la región y para los sectores económicos individuales dentro de esos países? ¿Cómo podrán los países de ALC construir el consenso político requerido para detonar la transición íntegra de la economía a cero emisiones netas y garantizar una transición justa e incluyente? Y, ¿cuál deberá ser la mezcla potencial de políticas que pueda ayudar a implementar esta transición de tal forma que sea efectiva, eficiente, y que goce de suficiente aceptación de todos los interesados a cargo de implementar la transición, o bien, los que se verán afectados por ella (ej. ramas del gobierno, empresas, comunidades, trabajo, y otras ONGs interesadas)? La capacidad de las estrategias nacionales de desarrollo baja en emisiones de contestar estas preguntas dependerá mayormente de la organización de los procesos para involucrar a los interesados en aras que las desarrollen, y de los procesos analíticos usados para probar el rigor de la transición física y las propuestas

de políticas que emanen de estos procesos. Algunos en nuestros equipos en ALC, particularmente Costa Rica y Ecuador, ya han llevado a cabo parte de esta consulta con los interesados. En adelante, se deberá prestar atención específicamente a resaltar la necesidad de cero emisiones netas en el contexto de otras metas de desarrollo, y en la habilidad de aplicar un rigor cuantitativo a las narrativas de transición que ofrecen los interesados, y a los arreglos institucionales específicos requeridos para mejorar la participación de los interesados.

La declaración para “enmarcar” o “presentar” el proceso ELP tendrá que garantizar claridad sobre el objetivo del análisis para todos los involucrados, por ejemplo, congruencia con la neutralidad de las emisiones globales CO₂ en la primera parte de la segunda mitad del siglo. Para ayudar a tener presente la meta de cero emisiones netas, se puede hacer un proceso de “back-casting” o una retrospectiva de la visión para 2050-2070, mirando hacia atrás y regresando al presente, analizando la suma de los niveles nacionales y sectoriales; esto ayudará a identificar las elecciones de política pública, planificación e inversión necesarias para alcanzar esta visión, al igual que para infraestructura para el largo plazo y una secuencia apropiada de acciones políticas para una transición justa e incluyente. Una condición clave para garantizar la aceptación de los desafíos y oportunidades a ser investigadas es compartir la comprensión y compromiso del planteamiento, al igual que

la participación activa en la búsqueda de soluciones. El alcance del proceso de desarrollo de las ELP deberá poner en relieve los desafíos y oportunidades de desarrollar emisiones bajas a largo plazo en el contexto del país. Esto implica tomar en cuenta las preocupaciones de los interesados a manera de enterarnos de sus opiniones y conocimiento sobre opciones, construir consenso para el trabajo por delante, y, mediante pruebas en diversos frentes, garantizar que el abordaje elegido sea robusto. Al mismo tiempo, el horizonte a largo plazo del análisis de rutas se deberá utilizar de lleno para evitar un enfoque centrado en intereses de poca envergadura y/o a corto plazo (ej. aquellos que deseen construir una infraestructura de gas tendrán que demostrar de qué manera es coherente con las emisiones GEI cero netas más allá del periodo 2050-2070). Finalmente, reconociendo la prioridad de las ya existentes metas de desarrollo (ej. mitigación de la pobreza, reducción de la desigualdad y desempleo, mejorar la calidad del aire, y mejorar la confianza en el acceso a la energía); las opciones de transformación a largo plazo tendrán que ser evaluadas a la luz de su capacidad de contribuir sinérgicamente al cumplimiento de las metas de desarrollo y cambio climático al mismo tiempo. Si llevamos este argumento un paso más adelante, tomará precedencia aquella política de desarrollo que se autofinancie a la vez que produce beneficios para el clima (ej. la electrificación de autobuses públicos, ofreciendo servicio más frecuente y cubriendo una mayor red para cumplir con las metas de calidad del aire urbano).

Deberán seleccionarse **abordajes analíticos cuantitativos y herramientas de modelaje** por su capacidad de usar, reflejar, y producir insumos, supuestos y resultados para las rutas de manera rigurosa y transparente, y que respondan a las preguntas de “¿quién hace qué, cuándo, y a quién impactará?” para la resolución temporal, geográfica y sectorial apropiada. El proceso de alinear preguntas de investigación y política con herramientas analíticas podrá ayudar a identificar retos en recursos y capacidades; por ejemplo si las herramientas actuales son adecuadas, o si se requiere de nuevas, o, qué clase de habilidades y asistencia técnica se podrá necesitar para desempeñar el análisis. Entender qué información está fácilmente disponible, qué se tendrá que conseguir, y qué no se podrá conseguir en lo absoluto determinará qué clase de análisis se podrá efectuar de manera robusta, qué requerirá de un tratamiento simplificado, o qué deberá ser excluido del análisis. Para los gobiernos que carezcan de su propia información en áreas clave de políticas o sectores, ya sea internacional o sectorial, se podrá echar mano de conjuntos de datos de gobiernos que presenten condiciones similares en una fase inicial.

Se requiere de **arreglos institucionales específicos** para estructurar la participación de los interesados en los estudios de rutas. Los interesados podrán incluir otros departamentos de gobierno o gobiernos locales, empresas públicas y privadas, organizaciones no gubernamentales, *think-tanks* o grupos de expertos, inversores institucionales, o sindicatos. La construcción conjunta y la consulta con los interesados podrá ayudar a los países a construir ELP que sean relevantes, que apoyen múltiples objetivos de desarrollo, y que tengan la aprobación de los interesados. Las narrativas cualitativas y cuantitativas, ofrecidas por los interesados en su propio idioma pero traducidas a tableros cuantitativos comunes, son una estrategia clave para involucrarlos en el diseño de rutas. El objetivo deberá ser organizar una comunicación de dos vías entre el análisis cuantitativo y los interesados para solicitar su aportación y retroalimentación, e informar sobre el avance y resultados en distintas etapas del proceso, especialmente en las etapas tempranas. Estas iteraciones son esenciales si se ha de generar conocimiento científico y técnico robusto que refleje situaciones del mundo real para facilitar la asimilación de estas revelaciones científicas por parte de los tomadores de decisiones, para identificar sinergias y compensaciones, y para encontrar formas de gestionarlas, identificando áreas que estén prestas para la innovación y transformación, y los medios para inducirlos.

Una vez que se hubiere establecido un acuerdo viable sobre una o más rutas cero emisiones netas y sobre las transiciones físicas (y sus variaciones en potencia) que cada sector deberá emprender en el corto y largo plazo, y que haya quedado claro, entonces habrá que centrarse en la tarea de construir paquetes de políticas para el corto y largo plazo. De manera realista, esto requerirá de iniciativa del gobierno y de retroalimentación activa y constructiva de parte de los interesados, haciendo que la aceptación inicial sea aún más importante. No todas las opciones de políticas serán adecuadas o estarán disponibles en todos los países, y el gobierno de cada país tendrá que adaptar aquellas para la transición que sean apropiadas para su sistema de gobierno, sus actores, capacidades, y circunstancias nacionales. Los precios, explícitos o implícitos, del carbono en particular, requieren de un punto de incidencia en el que se podrá aplicar un cargo o reorientar el subsidio hacia la intensidad del carbono. En las economías informales sin estructuras para impuestos sobre el consumo, el único punto disponible de incidencia puede ser donde se produzca o importe la forma final de la energía. Lo mismo se aplica para la normatividad; si no existen códigos de construcción, o no se hacen aplicar, la eficiencia energética y las necesidades de electrificación tendrán que ser actualizadas directamente mediante empresas de construcción y proveedores de material de construcción.

Políticas sectoriales que abarquen toda la economía

Hay un sólida y establecida suite de herramientas de política a partir de las cuales se podrá construir paquetes de políticas, incluyendo: consulta con actores, planificación y construcción de consenso (ver secciones de arriba); eliminación de barreras regulatorias (ej. códigos de construcción) a los procesos de descarbonización (ej. uso más eficiente de acero y cemento en edificios; sustitución de clínker en el cemento); medidas regulatorias, incluyendo estándares de tecnología y desempeño; medidas para el mercado, incluyendo subsidios directos, reducción de subsidio a los combustibles fósiles y fijación del precio del carbono; y, política para la innovación, incluyendo apoyos para la investigación, desarrollo y comercialización, y apoyo al mercado en momentos iniciales. Estas herramientas políticas genéricas típicamente se evalúan contra los siguientes criterios en un contexto dado al formar paquetes de políticas: eficacia en el logro de la meta; eficiencia económica (evitando el menor costo por tonelada); efectos y equidad de la distribución; el potencial transformacional (ej. inducir la innovación tecnológica o estructural); beneficios socioeconómicos (especialmente la contaminación del aire local y empleo remunerado) y alineación general con las metas más extensas para el desarrollo; efectos interactivos entre estas y otra políticas en efecto; y, factibilidad administrativa y política. Este último criterio representa quizá el mayor reto, ya que incluye consideraciones del mundo real y la necesidad de conquistar la aceptación política, al igual que la conducta y toma de decisiones de aquellos que deberán implementar las acciones de la transición física, gestionar objetivos que pueden competir entre sí, y la importancia que cobra el contexto local en el diseño efectivo e implementación de políticas para el clima. Finalmente, la transición hacia cero emisiones netas probablemente creará ganadores y perdedores, con impactos sociales negativos si no se planifican y manejan con cuidado. Dado todo lo anterior, sugerimos que los siguientes elementos clave de paquetes de políticas sectoriales que abarquen la economía sean administrados como sea apropiado en ciertos sectores, regiones y países. Discutiremos primero un conjunto de políticas integrales para la economía, y luego pasaremos a políticas específicas por sector, mismas que surgen del análisis DDP. Cada sección incluye una discusión de condiciones facilitadoras clave, al igual que la construcción de capacidades y las necesidades de cooperación internacional.

2 <https://www.npr.org/2019/10/14/770104729/ecuador-reaches-fuel-subsidy-deal-to-end-violent-protests>; <https://www.petroleum-economist.com/articles/politics-economics/south-central-america/2019/ecuador-reverses-fuel-subsidy-decision>

Para toda la economía: Reducir subsidios para combustibles fósiles, reorientar el gravamen actual al combustible basándolo en la intensidad GEI, y proporcionar financiamiento para inversiones estratégicas al planificar los ingresos y costos del gobierno

La Agencia Internacional para la Energía, IEA, indica subsidios para combustibles fósiles en un monto anual con diferencia de precios (“*price-gap*”) de \$400 miles de millones de USD en 2018 (<https://www.iea.org/topics/energy-subsidies>). Si bien la eliminación de subsidios a combustibles fósiles puede ser muy difícil —como se vio en el intento fallido reciente de Ecuador para reducir subsidios al diesel, la gasolina y el GLP, intento que llevó a disturbios civiles² probablemente será muy importante para la transición a largo plazo hacia cero emisiones netas en el transporte, edificios e industria. Los responsables de políticas tendrán que estar atentos y aprovechar esas ventanas de oportunidad que se van abriendo, como son periodos de costos bajos de energía, para reducir los subsidios al consumo y a la producción. También se requerirá de medidas complementarias para proteger a los más pobres y vulnerables en la transición, como por ejemplo transferencias directas de efectivo a los más desvalidos en respuesta a la eliminación de subsidios o la fijación del precio de la energía o el carbono (Vogt-Schilb *et al.*, 2019).

El ampliar la lógica de la reducción de subsidios y reorientar el impuesto al consumo existente para el combustible hacia impuestos basados en la intensidad GEI, como hicieron los países escandinavos en los años noventa como parte de una reforma fiscal integral, podrá parecerse a los efectos de un precio al carbono bajo pero efectivo. Suecia, en particular, implementó su impuesto al carbono, actualmente a \$123/t CO₂e —el más alto del mundo— como parte de una reforma fiscal integral en 1991, cuando introdujeron la idea de la fijación de precios del carbono como parte de una reforma más grande con el fin de reducir los altos y marginales impuestos a la renta a cambio de impuestos con mayor valor agregado. El concepto de “*tax swapping*”, o permuta de impuestos, también puede presentarle al público la idea de tarificar el carbono de una forma relativamente natural, dando lugar a incrementos más adelante; la Comisión de Alto Nivel Sobre los Precios del Carbono recomendó \$40-80/t CO₂e para el año 2030 y \$50-100/t CO₂e para el año 2050 (Coalición de Líderes para la Fijación del Precio del Carbono, 2017). La fijación de precios del carbono, aunque útil para incentivar cambios estructurales e innovación en la economía para el largo plazo, puede ser muy difícil de manejar políticamente; además, aunque compruebe ser de éxito, puede ser necesario implementar un esquema tarifario no óptimo. Pese a la economía ortodoxa, los responsables de políticas tampoco deberán temer la imposición de distintos precios en los sectores, regiones y naciones – la respuesta social a la fijación de precios al carbono sí habrá de diferir (Bataille *et al.*, 2018),

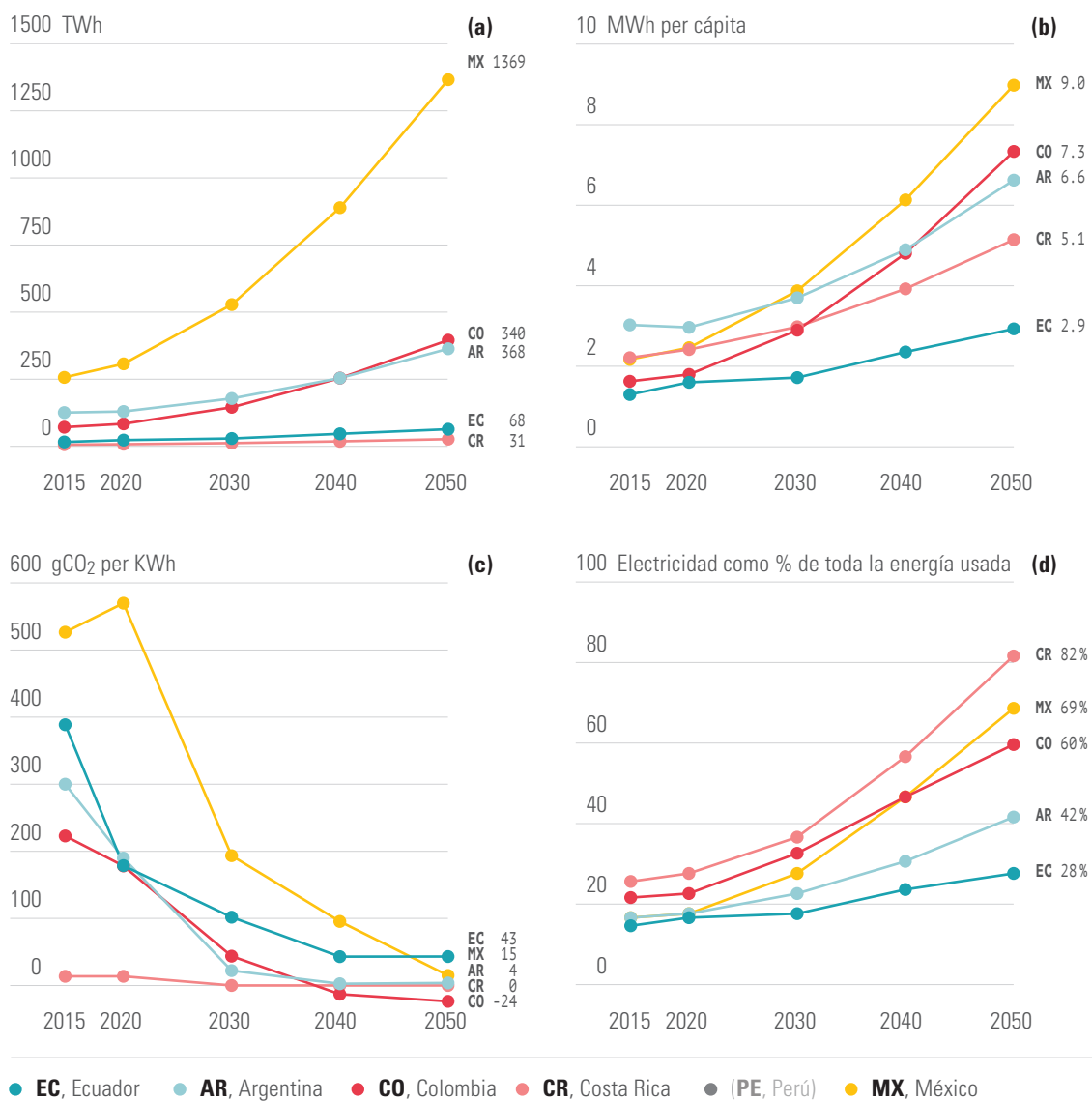
y la eficiencia de las señales de precios para detonar cambios diferirá entre sectores. California implementó una suite de políticas regulatorias para que la mayor parte de sus metas de mitigación de emisiones pudiesen cumplirse, e implementó su sistema de tope y canje como una póliza de seguro de respaldo (Bang, Victor y Andresen, 2017).

La descarbonización profunda también afectará sectores que contribuyen a los ingresos fiscales del país, empezando con los países ALC que actualmente reciben ingresos por petróleo y gas (Solano-Rodríguez *et al.*, 2019). Al reducir los subsidios destinados a los combustibles fósiles, proporcionando subsidios para la generación de electricidad baja en GEI y para los VE (Vehículos Eléctricos), y utilizar

otros ajustes fiscales que se comporten como la fijación de precios del carbono, se tendrán que evaluar con sumo cuidado los ingresos y costos netos del gobierno.

Abarcar toda la economía: A todos los sectores se les tendrá que animar a electrificar, usar renovables locales, o de otra forma usar energía descarbonizada donde se pueda. Esto, con la salvedad que la generación de electricidad deberá evolucionar hacia la descarbonización total; se requerirá de estándares de tecnología o desempeño para animar y posiblemente exigir la electrificación de usos finales de la energía, tales como: cocinar, calefacción general; calefacción de espacios pequeños; fuentes, tanto pequeñas como grandes, de

Figura 5. Generación total de electricidad en DDP en TWh (a), MWh per cápita (2015=1) (b), intensidad GEI en gramos CO₂/kWh (c), como % de toda la energía de uso final (d)



Fuente: (Bataille et al., 2020)

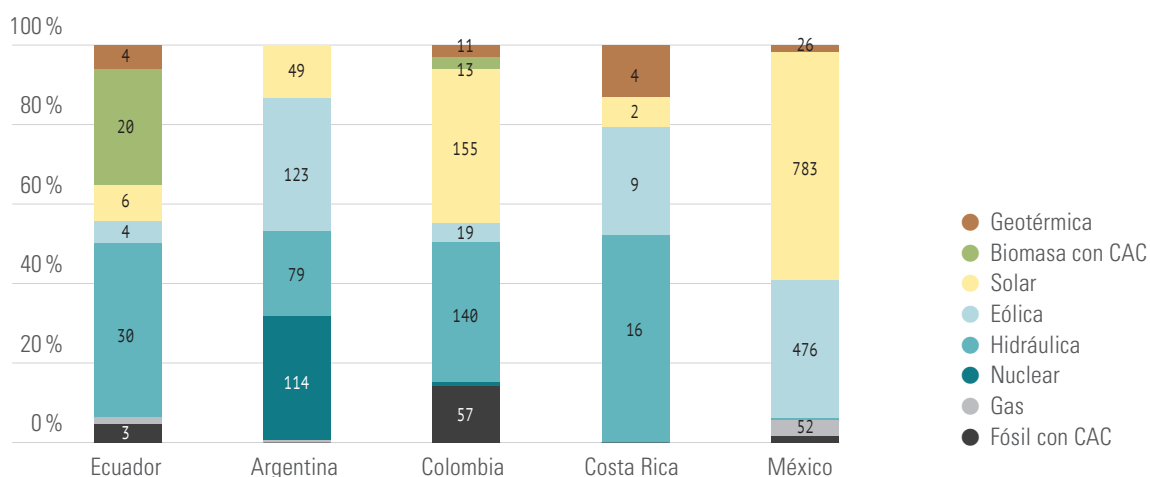
calor y vapor (ej. calentadores y bombas de calor para fines comerciales y de industria ligera); y transporte privado y público. Para apoyar esta generación de electricidad, se requerirá de su descarbonización (siguiente sección), mejoras en la transmisión, y poner a la disposición tecnologías clave, como por ejemplo, planchas de inducción y materiales para cocinar; bombas de calor residenciales, comerciales e industriales; calentadores solares para agua y sistemas de impulso eléctrico; además de vehículos personales, autobuses y camiones eléctricos. Para cumplir con estas necesidades, la producción eléctrica per cápita se eleva de 4 a 5 veces entre el día de hoy y hasta el 2050 en todos los análisis DDPLAC, y la intensidad de GEI de la generación de electricidad se desploma virtualmente a cero (Figura 5). La industria ligera necesitará fomento educativo y financiero (ej. mediante mecanismos fiscales) para usar calefacción solar directa, bombas de calor, y calentador de resistencia eléctrica reforzada en lugar de carbón, o de calentadores a base de GLP o gas natural. Se necesitarán políticas para fomentar la adopción de mejores prácticas industriales, electrificación directa o indirecta que ya esté establecida (ej. vía hidrógeno a partir de la electrólisis, por ejemplo para uso en manufactura de acero o producción de fertilizante de nitrógeno). Finalmente, se tendrá que evaluar las señales de precios de electricidad y combustible de una región y determinar si están o no alineadas con la descarbonización profunda, y si funcionan a favor o en contra de la fijación del precio del carbono como tal. Los gobiernos regionales y nacionales de ALC ya tienen la mayoría de las herramientas de gobernanza que necesitan para promover la electrificación y cambiar de combustible hacia los que son cero emisiones netas de carbono (ej. líquidos y gases sintéticos ricos en bio-hidrógeno)

una vez que estén ya disponibles. Los combustibles bio y sintéticos serán tecnologías desarrolladas globalmente, probablemente con aportaciones de Brasil y otros países de la región ALC, y será clave que los países ALC participen activamente en el desarrollo del tamaño de la demanda del mercado, al igual que todas las demás jurisdicciones.

Sectorial: Energía – Toda la electricidad nueva debe ser muy baja o cero en emisiones, con la eliminación paulatina de activos altos en GEI

Para respaldar la electrificación limpia para la economía en su totalidad, toda nueva generación eléctrica deberá ser muy baja (ej. -95% CCS o mejor) o de cero emisiones GEI, o tener la finalidad de respaldar (ej. proporcionar energía “firme” o “estable”) la incorporación de fuentes renovables variables (ej. solar y eólico). Esto podrá ser impuesto mediante estándares sobre la cartera de renovables en combinación con subastas en el mercado con estándares de intensidad máxima de GEI. A menos que el mandato indique lo contrario, la mayor parte de la generación nueva de GEI será eólica o solar, sobre la base de costo por kWh, lo cual requerirá de planificación para la intermitencia y respaldo en dimensiones por minuto, hora, semana y estación. También se podrá vender al mercado bloques de energía eólica y solar combinados con apoyo para su integración. Este apoyo se proporciona mediante más planificación, interconexiones regionales, respuesta a la demanda, almacenamiento de energía (ej. baterías, combustibles fósiles con CAC (Captura y Almacenamiento de Carbono), turbinas de gas que operan a base de una mezcla de gases o líquidos (ej. metano, propano, GLP, hidrógeno), o celdas de combustible de dos vías implementando energía a hidrógeno y de vuelta, etc.

Figura 6. Mix eléctrico en DDP por país en 2050 (TWh)



Fuente: (Bataille et al., 2020)

Finalmente, se tendrán que revisar la gobernanza regional y nacional y la estructura del mercado de la electricidad y el gas natural para encontrar dinámicas que funcionen a favor y en contra de la electrificación, por ejemplo, reglas sobre márgenes de reservas históricas basadas en grandes cortes probabilísticos en plantas de carbón.

Países como Chile y México han llevado a cabo subastas de mucho éxito para la energía renovable, con precios recientemente sin subsidios de \$0.029/kWh USD y \$0.021/kWh respectivamente y proyectos individuales de entre \$0.017/kWh y \$0.032/kWh. Todos estos precios están por debajo del costo de la generación de carbón o gas, y la cooperación interregional podrá ayudar a que se repitan estos éxitos.

Los países y las regiones probablemente tendrán que llevar a cabo planificación, diseño del mercado, y financiamiento para aumentar y rehabilitar sus sistemas de generación de energía y transmisión. Aún cuando gran parte del financiamiento tendrá que venir del mercado privado, mecanismos para "eliminar el riesgo" del financiamiento por parte de bancos de desarrollo podrán ayudar a llamar la atención del mercado a estos proyectos. A resumidas cuentas, no obstante, los fondos públicos nacionales e internacionales representan una diminuta porción de la inversión necesaria para la descarbonización (Fay *et al.*, 2015), y la clave para los gobiernos será redirigir las inversiones, tanto públicas como privadas. Si las instituciones financieras internacionales juegan un papel catalizador, esto podrá reorientar las expectativas del sector privado y de los gobiernos nacionales, al igual que la normatividad financiera y las instituciones hacia ese objetivo.

Sectorial: Energía – Reconsiderar con cuidado las inversiones nuevas en proyectos de carbón, petróleo y gas, tanto para exportación como para uso doméstico, incluyendo la exploración, producción y transmisión

Para la producción nacional en curso de carbón, petróleo y gas, los países de ALC deberán desarrollar una estrategia para optimizar sus activos en base a la intensidad GEI (ej. reducir el uso de activos basados en carbón, petróleo y gas en ese orden de ser posible, tomando en cuenta la amortización de la vida útil de las inversiones específicas), y considerando de qué manera podrán ser adaptadas a una producción de energía baja en carbono. De conformidad con el plan, parte de la infraestructura e instalaciones de petróleo y gas se podrán usar para hacer hidrógeno, biolíquidos y biogases bajos en GEI, además de otros combustibles bajos en carbono (Bataille 2019). Los fondos públicos para las obras de petróleo y gas que se suspendan pueden ser redirigidos hacia la transmisión de electricidad, su distribución, y la infraestructura de almacenamiento de energía que permita que se incluyan grandes volúmenes de generación de energía renovable en la red.

La caída en la demanda de combustibles fósiles impulsada por la guerra de precios OPEP a principios de 2019 y COVID-19 han revelado la incertidumbre de precios en el petróleo globalmente, y por ende en los mercados de gas; a esta luz, la exploración nueva de petróleo y gas para exportación se tendrá que considerar sumamente arriesgada. La exploración del carbono, petróleo y gas con la intención de vincularlo al uso de captura y almacenamiento de carbono nacional puede ser menos arriesgada bajo la condición que la captura y almacenamiento del carbono se comercialice globalmente a un precio razonable de instalación y operación.

Sectorial: Transporte – Uso del suelo y planificación de tránsito y zonificación para fomentar viajes bajos en emisiones, no motorizados, y de alta ocupación vehicular

La descarbonización del sector transporte aumenta el acceso a opciones de transporte limpias y seguras, pero también trae oportunidades de mejora de la movilidad, reducción de la contaminación local del aire, y mejor calidad de vida. Muchas ciudades de ALC están por encima de los umbrales de la Organización Mundial de Salud de concentración de contaminantes en el aire. Cada año, 50,000 personas mueren prematuramente en la región debido a la contaminación del aire, causada principalmente por el transporte (Galarza y López, 2016).

Se necesita planificación urbana y de tránsito para la reestructura paulatina de las ciudades de ALC para llegar a una forma urbana que fomente el uso de tránsito de más alta frecuencia (ej. autobuses y trenes eléctricos) y la movilidad no-motorizada. Esto incluye esfuerzos a corto plazo, por ejemplo reglas sobre movimiento para impulsar el tránsito no motorizado (ej. veredas o aceras elevadas y separadas, carriles para ciclistas con barreras, retirar estacionamientos, que las reglas del uso del suelo concentren negocios y servicios afines), y esfuerzos a largo plazo en que el crecimiento de la ciudad y su evolución se dirijan a fomentar el tránsito de alta ocupación y bajas emisiones, y desincentivar el uso de automóviles. La **Figura 7** muestra cómo la movilidad total aumenta en todos los países menos Ecuador, y la movilidad individual motorizada se reduce en todos los países menos Argentina, principalmente debido a cambio de modalidad hacia líneas urbanas e interurbanas de autobuses electrificados.

Sectorial: Transporte – Mandato cero emisiones para vehículos nuevos, creando así las condiciones que faciliten e incentiven modelos de negocio para transporte innovador

Los vehículos de batería eléctrica, y en menor grado los de celdas de combustible de hidrógeno, han entrado al mercado global del transporte, prometiendo un camino para eliminar con el tiempo los GEI directos y los contaminantes del aire local en ciudades alrededor del mundo, si bien no así la con-

gestión. La electrificación en vkm varía de 6% a 100% para el año 2050 en nuestros escenarios DDPLAC, con la mayor parte dentro del rango de 40-65% (Figura 8); entretanto, la intensidad GEI del combustible, que incluye el cambio hacia biocombustibles, varía de -18% a -100% para el año 2050 (Figura 9). Los vehículos de cero emisiones netas actualmente cuestan más que los de gasolina y los equivalentes de diesel, sin embargo, y la disponibilidad de redes para recarga y combustible pueden variar –desde no existentes hasta limitadas, aunque en algunas regiones van rápidamente en aumento.

Según informa la IEA en su publicación *IEA Global EV Outlook* (Till et al., 2019) los abordajes de políticas para promover el despliegue de VE (Vehículos Eléctricos) empiezan comúnmente con una declaración de la visión y un conjunto de metas, seguidos por la adopción de estándares para la seguridad de vehículos eléctricos y redes de carga interoperables. Un plan de despliegue de VE a menudo incluye programas de compras públicas para estimular la demanda de vehículos eléctricos y facilitar un lanzamiento inicial de infraestructura para carga de los mismos que sea de acceso público.

Figura 7. Distancia recorrida en vehículo per cápita en la DDP (pkm/cap) (a) y movilidad personal compartida (coche + vehículo de dos ruedas) (% Gpkm/cap) (b)

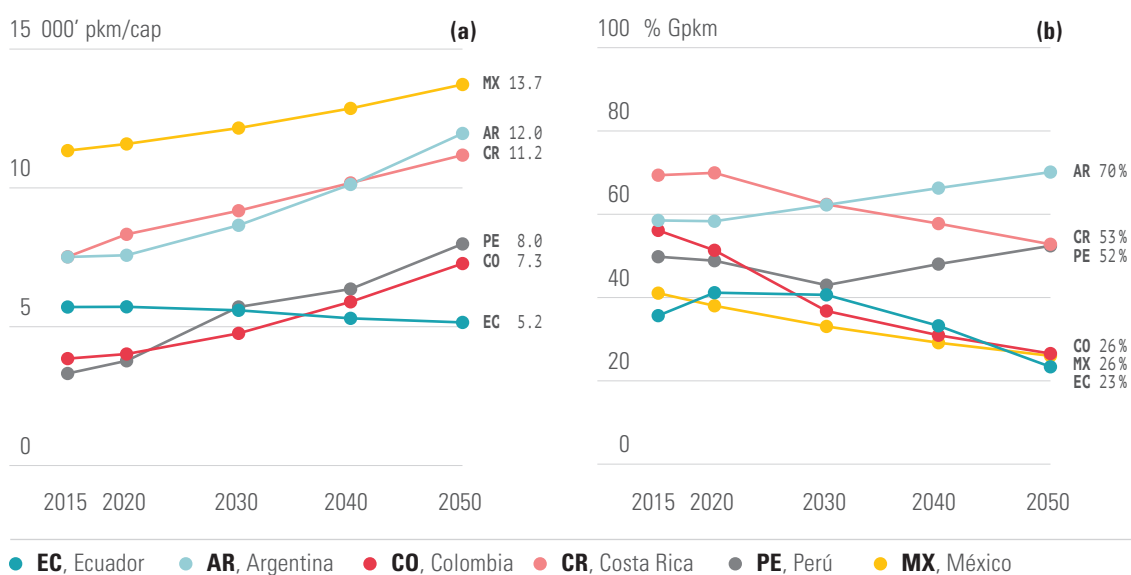
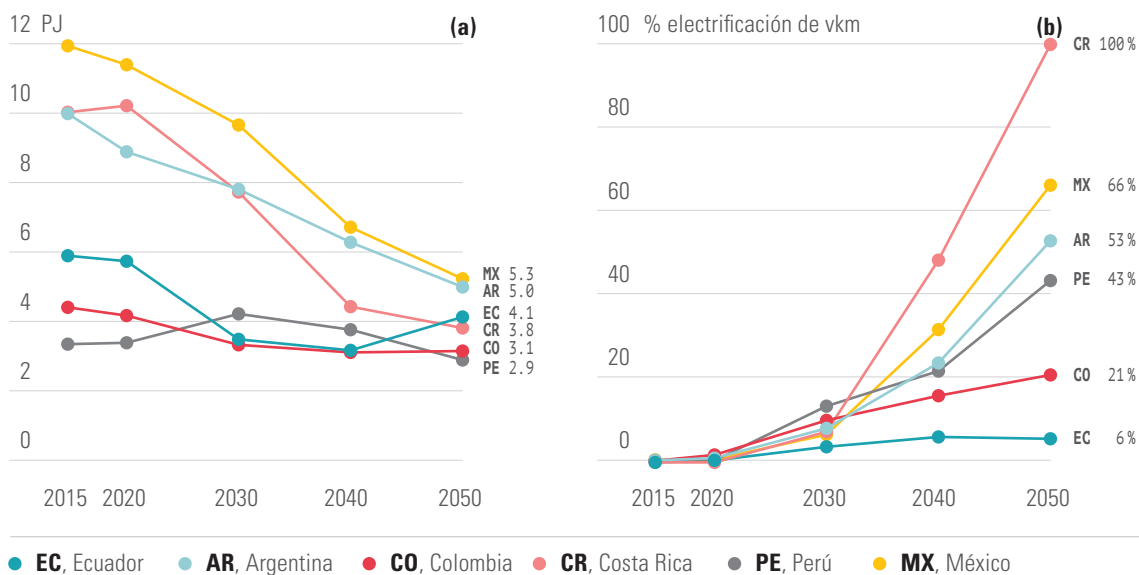
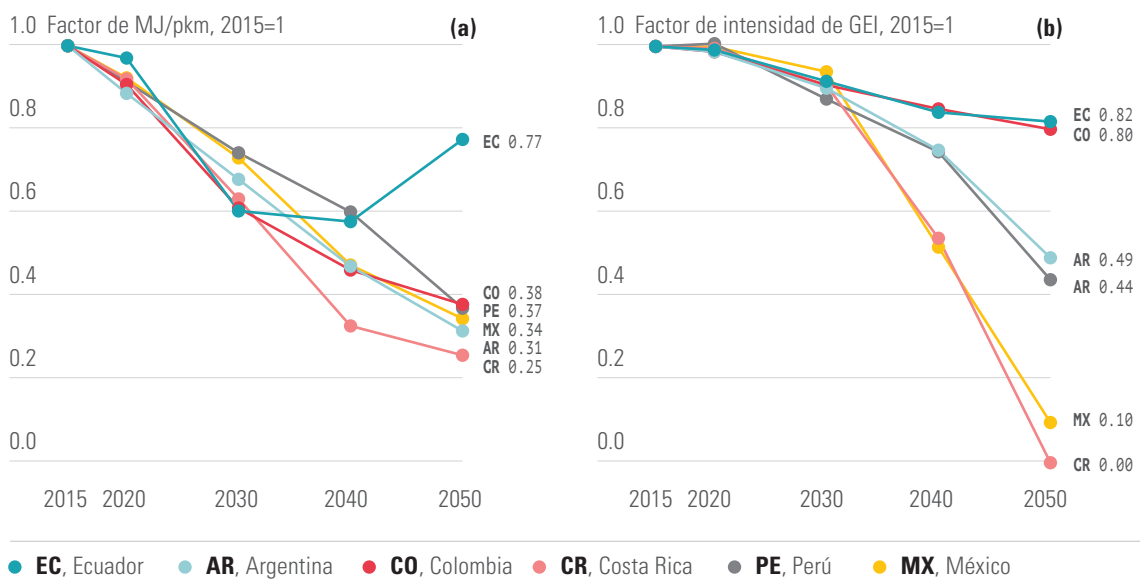


Figura 8. Consumo de energía final en transporte de pasajeros (PJ) (a) y electrificación del transporte en vkm (%) en el tiempo (MJ/pkm, 2015=1) (b)



Fuente: (Bataille et al., 2020)

Figura 9. Passenger transport energy efficiency (a) and overall fuel end use GHG intensity (b)



Fuente: (Bataille et al., 2020)

Las políticas para apoyar el despliegue de infraestructura de carga incluyen los requerimientos mínimos para garantizar la preparación para VE en edificios nuevos o remodelados y en plazas de estacionamientos, además de la construcción de centros de carga accesibles en ciudades como en redes de carreteras. Las medidas que proporcionan incentivos críticos para acrecentar la disponibilidad de vehículos con cero o bajas emisiones en tubo de escape incluyen estándares para la economía del combustible y vehículos cero emisiones. Otra medida útil es la de proporcionar incentivos económicos, especialmente para cerrar la brecha de costos entre los VE y los vehículos de menor costo de motor de combustión interna, al igual que impulsar el pronto despliegue de la infraestructura de carga. A menudo estos van de la mano con otras medidas políticas que aumentan la propuesta de valor de los VE, como por ejemplo exenciones a restricciones de acceso, peaje o cuotas de estacionamiento más asequibles, con frecuencia justificados debido al mejor desempeño de los VE en términos de contaminación ambiental.

En el contexto Latinoamericano, los modelos de negocio que instan a la electrificación de los sistemas de autobuses (ej. sistemas de retro-leasing debido a su alto costo inicial) podrían ser transformativos, si se trabaja con la estrategia de fomentar viajes urbanos e interurbanos de alta ocupación y bajas emisiones. A los viajes motorizados de automóvil, autobús y cargueros urbanos también se les puede requerir que transiten hacia cero GEI y motores sin contaminación local del aire (ej. la electrificación y las celdas de combustible de hidrógeno) vía la implementación de estándares para flotillas y esquemas de retiro de vehículos "chatarra". Todo

vehículo de carga pesado y de más largo tiro con el tiempo también se deberá descarbonizar por medio de una mezcla de electrificación, biocombustibles o celdas de combustible de hidrógeno, dependiendo del modo, tamaño, ruta vehicular y desarrollos tecnológicos globales.

Una vez más, los gobiernos de ALC, nacionales y regionales, ya cuentan con gran parte de las herramientas para gobernanza que necesitan para la planificación urbana y regulaciones vehiculares; Ecuador ya ha girado órdenes que para el año 2025 todos los autobuses nuevos, tanto urbanos como interurbanos, deberán ser eléctricos; Costa Rica tiene por meta la electrificación de las flotillas de autobuses públicos (30% para 2035 y 85% para 2050) y privados (95% para 2050). Quizás para la implementación de mejores prácticas en planeación urbana necesiten recibir asistencia y aliciente, al igual que apoyo financiero para proyectos de tránsito urbano intensivos en capital cuyo propósito sea fomentar la participación del tan necesario financiamiento privado.

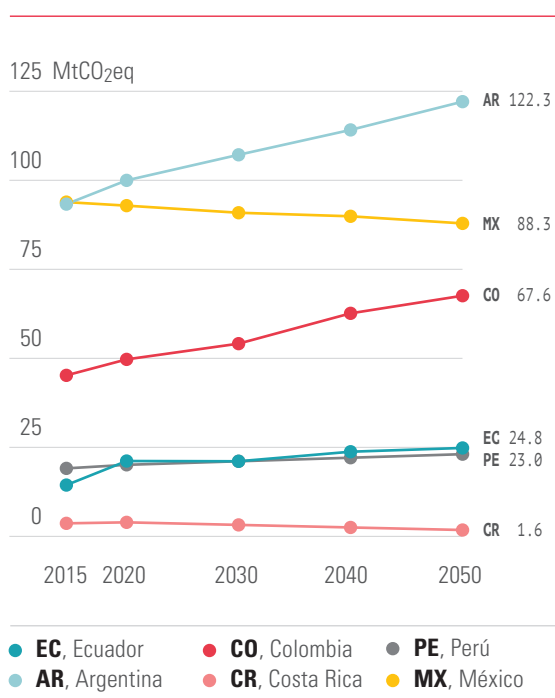
Sectorial: Agricultura, Silvicultura y Uso del Suelo – Emplear la agricultura intensiva sostenible para reducir las emisiones de N₂O y metano mediante mejores prácticas agrícolas y reducir las presiones de la deforestación

Varios de los equipos profesionales de DDP-LAC (Perú, Colombia, Ecuador, y Argentina) identificaron la intensificación sostenible (ej. más producción por hectárea) de agricultura y ganadería como medio para reducir emisiones de N₂O y metano, incluyendo el uso más eficiente de fertilizantes e irrigación, periodos secos para los arrozales, selección de cultivos y barbecho para aumentar el carbono en el suelo, y más.

Debido a que los resultados de emisiones en uso del suelo del óxido nitroso y los fertilizantes de metano dependen mucho del método empleado por los agricultores, y siempre serán difíciles de medir, estas emisiones se tendrán que reducir mediante la regulación del uso del suelo, capacitación para los agricultores, y mecanismos de financiamiento para la comunidad agrícola, por ejemplo, la tarificación de los fertilizantes. La educación agrícola con frecuencia implica un traslado de la agricultura de subsistencia y baja productividad hacia una agricultura más profesionalizada. Esto está al alcance de los países ALC, pero se necesita una inversión de 10 a 20 años en la educación de los productores, y medidas que permitan a las familias que actualmente producen al nivel de subsistencia participar en este sistema.

El óxido nitroso y el metano producido por rumiantes (ganado) son proporcionales al número de cabezas, que a la vez tiene que ver con la dieta de los humanos pero también con la dieta de las vacas. Actualmente se está investigando y estudiando la posibilidad de vacunas y cambios en la dieta para reducir el metano producido por los rumiantes, por ejemplo al darles una pequeña porción de un alga marina particular. Si bien casi todos los equipos DDP-LAC presentaron emisiones agrícolas de CH₄ y N₂O estables o en aumento (Figura 10), varios notaron en sus informes que prácticas sostenibles más intensivas podrían ayudar a reducir la presión de agregar más tierra de cultivo mediante la deforestación, ayudando a liberar tierras previamente degradadas para ser forestadas.

Figura 10. Emisiones agrícolas: CH₄ y N₂O (MtCO₂e)



Fuente: (Bataille et al., 2020)

Durante el proyecto DDPLAC, los equipos no incluyeron grandes cambios en dietas, en tanto que el subsecuente informe del BID sobre empleo (Saget, Vogt-Schilb y Luu, 2020) se basa en un cambio a gran escala en la agricultura de la carne y los productos lácteos hacia una producción mayor de plantas para suplir los cambios de dieta. Esto ofrece grandes beneficios potenciales para la salud y múltiples oportunidades de empleos potenciales, al igual que beneficios en las emisiones GEI al reducir el metano y N₂O producidos por el ganado (Masson-Delmotte et al., 2018).

Sectorial: Agricultura, Silvicultura y Uso del Suelo – Consequir la asignación y aplicación de derechos de uso del suelo para permitir una reducción en la deforestación, suplementada por la forestación comercial

Varios de los equipos DDP-LAC sugirieron que la asignación y aplicación de propiedad de la tierra y derechos de su uso (en especial para los productores de subsistencia y pueblos indígenas) ayudaría a reducir la deforestación y los flujos de CO₂, y liberar suelos no aptos para la agricultura para que sean forestadas (Figure 11). Al crear esta asociación duradera entre comunidades, tierras agrícolas y bosques en pie y en crecimiento, se brinda un incentivo para proteger y mejorar todo lo anterior, al igual que para inversiones a más largo plazo en la agrosilvicultura para que se “cosechen” bosques para extraer alimentos y productos animales, farmacéuticos y otros de alto valor, pero dejando que los árboles permanezcan, crezcan y absorban carbono. Esto fue analizado en el trabajo del DDP Peruano y los estudios que resultaron del mismo.

Además, los programas de forestación de gran extensión podrían proteger los bosques existentes que están expuestos al igual que absorber el dióxido de carbono por cuenta propia. El equipo peruano incluyó una sugerencia específica acerca de un programa de forestación que sirva como parachoques de tierras existentes de la Amazonia que capturarían entre 1-2 GtC por \$2 mil millones, efectivamente \$1-2/t CO₂. No obstante, los fondos para tal proyecto tendrían que venir de afuera del gobierno peruano.

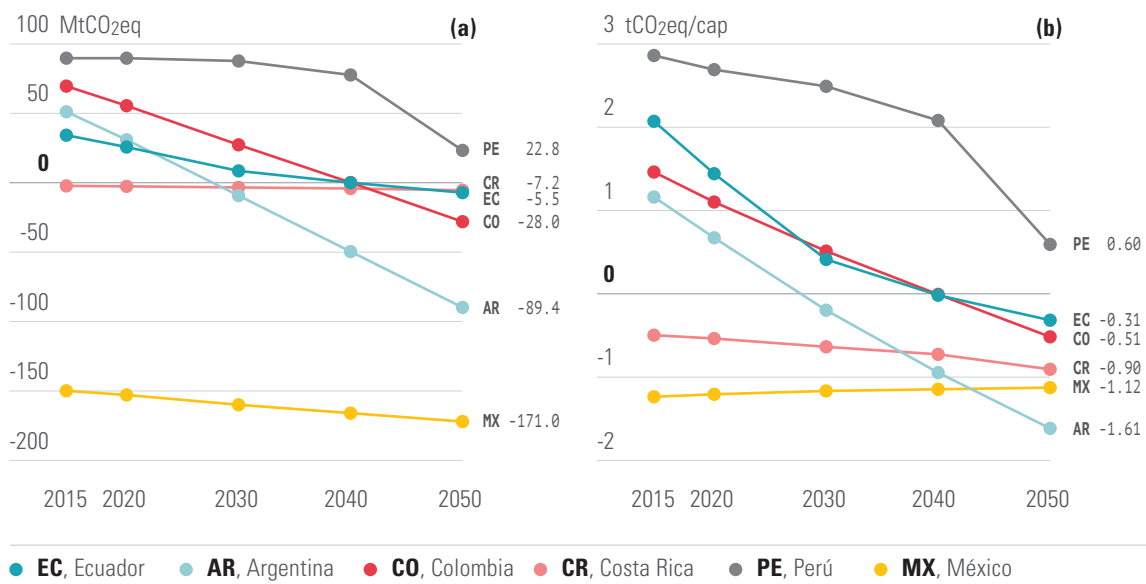
La asignación y aplicación de los derechos de uso del suelo son prerrogativas nacionales, pero están entre las muchas prioridades de desarrollo para los gobiernos nacionales y regionales de ALC, y quizás no sean de las más altas prioridades. Además, al igual que la experiencia colombiana al final de la insurrección civil en que el fin de la violencia permitió que la deforestación siguiera practicándose en zonas de la FARC, la agricultura de subsistencia basada en la tala y quema y la toma de posesión ilegal de tierras boscosas son difíciles de evitar si las poblaciones locales no cuentan con otras opciones. Quizás haya cabida para financiamiento y apoyo logístico para la aplicación de derechos de uso de suelo, educación para fomentar empleos con sueldo y

la agrosilvicultura sostenible, acceso a mercados de más alto valor para proteína del bosque y productos vegetales, y especialmente para programas de forestación comercial, todos con el debido respeto hacia las prioridades del gobierno local. Por favor vea "Jobs in a Net-Zero Emissions Future in Latin America and the Caribbean" (Empleos en un futuro cero emisiones netas en América Latina y el Caribe) (Saget, Vogt-Schilb y Luu, 2020)

Sectorial: La participación en programas estructurados e intensivos en innovación y comercialización, y con mecanismos para generar demanda en el mercado con aquellos sectores más difíciles de descarbonizar, como pueden ser la aviación, fletes y carga, e industria pesada.

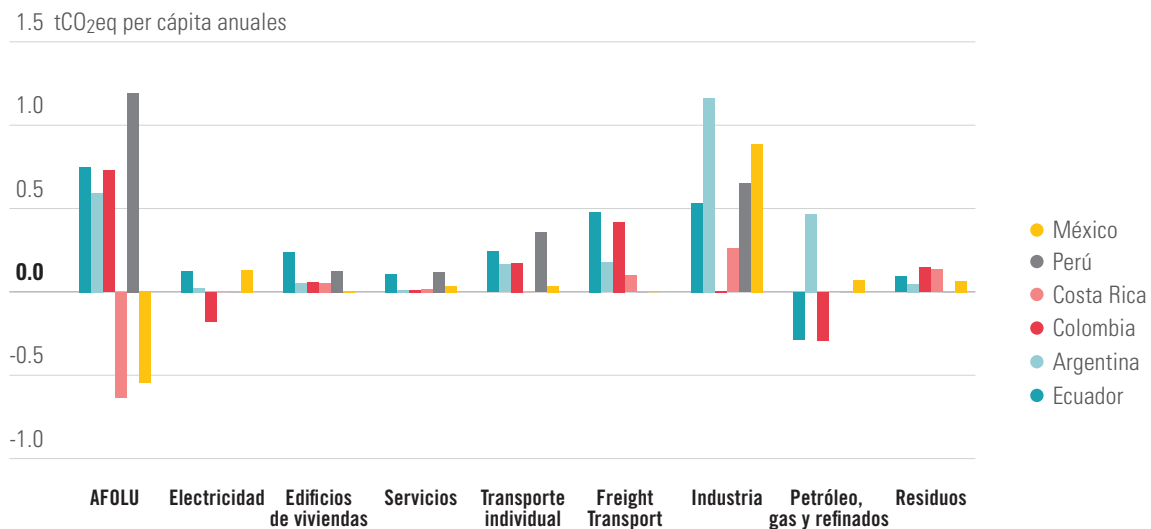
Todos los países ALC tienen emisiones significativas en los sectores de la aviación, fletes y carga e industria pesada (Figura 12), y todos estos también deberán transitar hacia

Figura 11. Emisiones de cambio de uso de la tierra, por país: absolutas (MtCO₂) (a) y per cápita (tCO₂ por persona) (b)



Fuente: (Bataille et al., 2020)

Figura 12. Emisiones remanentes en 2050 por sector y per cápita (toneladas de CO₂ equivalente per cápita anuales)



Fuente: (Bataille et al., 2020)

cero emisiones netas. Si bien las naciones ALC enfrentan un reto considerable para lograr la transformación de sus sistemas de electricidad, transporte e industria, conforme avance la mejor tecnología disponible en los sectores de aviación, fletes y carga, e industria pesada también deberán monitorear y adoptar estas mejoras, aportando a los esfuerzos globales en la medida de lo posible.

Es factible que el recurso solar de México, los recursos eólicos y solares de Argentina y Chile, y la abundancia de biomasa en toda la región se conviertan en la clave para producir materiales cero emisiones netas (ej. cero emisiones hierro de Chile usando reducción de hidrógeno) (Armijo y Philibert, 2019) al igual que combustibles y químicos clave (hidrógeno, amoníaco, etileno, metanol) (Armijo y Philibert, 2019; Bataille, 2019). El proyecto DDP-LAC ha demostrado que lograr cero emisiones netas para más adelante en este siglo es técnicamente factible usando transformaciones físicas y basadas en políticas ya conocidas, y está mayormente dentro de las capacidades de estos países. Hay importantes beneficios potenciales en la macroeconomía, la calidad del aire, y en seguridad energética. Alcanzar estas rutas demandará de la participación

activa y cooperación de todas las partes involucradas en la formación de las estrategias de desarrollo a largo plazo. Una vez acordadas y establecidas dichas estrategias, permitirán la elección e implementación de paquetes de políticas sectoriales que abarquen toda la economía, además personalizadas para cada país y sector para fomentar las transformaciones físicas. Las estrategias a largo plazo también podrán ayudar a los gobiernos a manejar los impactos sociales de la descarbonización y garantizar una transición justa e incluyente (Saget et al 2020). Existen algunas condiciones internacionales determinantes que pueden ayudar en forma de avances tecnológicos y comercialización, eliminando el riesgo de no conseguir financiamiento para la infraestructura de energía y tránsito y para financiamiento directo internacional. Aunado a esto, apoyo logístico para la asignación y aplicación de derechos de uso del suelo controlado nacionalmente, a la comunidad de los bosques en general, y específicamente la educación en silvicultura, y muy particularmente dirigido a programas directos de forestación para proteger y mejorar los bosques existentes –cuyos beneficios son potencialmente más globales que locales.

REFERENCIAS

- Armijo, J. and Philibert, C. (2019) *Flexible production of green hydrogen and ammonia from variable solar and wind energy. Case study of Chile and Argentina*, ResearchGate. doi: 10.13140/RG.2.2.36547.66081.
- Bang, G., Victor, D. and Andresen, S. (2017) 'California's Cap-and-trade system: Diffusion and lessons', *Global Environmental Politics*, 17(3). doi: 10.1162/GLEP.
- Bataille, C., Waisman, Henri, et al. (2016) 'The Deep Decarbonization Pathways Project (DDPP): insights and emerging issues', *Climate Policy*. Taylor & Francis, 16(sup1), pp. S1–S6. doi: 10.1080/14693062.2016.1179620.
- Bataille, C., Waisman, H., et al. (2016) 'The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy', *Climate Policy*. Taylor & Francis, 16(sup1), pp. S7–S26. doi: 10.1080/14693062.2016.1173005.
- Bataille, C. et al. (2018) 'Carbon prices across countries', *Nature Climate Change*, 8(8), pp. 648–650. doi: 10.1038/s41558-018-0239-1.
- Bataille, C. (2019) 'Physical and policy pathways to net-zero emissions industry', *WIREs Wiley Interdisciplinary Reviews*, (December), pp. 1–20. doi: 10.1002/wcc.633.
- Bataille, C. et al. (2020) 'Net-zero deep decarbonization pathways in Latin America: challenges and opportunities', *Energy Strategy Reviews*, DDP-LAC Sp. doi: 10.1016/j.esr.2020.100510.
- Binsted, M. et al. (2019) 'Stranded asset implications of the Paris Agreement in Latin America and the Caribbean', *Environmental Research Letters*, pp. 0–18.
- Carbon Pricing Leadership Coalition (2017) *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. Available at: <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices/>.
- Clarke, L. et al. (2014) 'IPCC AR5 Chapter 5: Assessing Transformation Pathways', in Edenhofer, O. et al. (eds) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 413–510.
- Davis, S. J. et al. (2018) 'Net-zero emissions energy systems', *Science*, 9793(June). doi: 10.1126/science.aas9793.
- Edenhofer, O. et al. (2014) *IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, 2014. Edited by O. Edenhofer et al. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: <http://www.ipcc.ch/index.htm>.
- Fay, M. et al. (2015) *Decarbonizing Development: Three Steps to a Zero-Carbon Future.*, World Bank Group. Washington DC, USA. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- González-Mahecha, E. et al. (2019) 'Committed emissions and the risk of stranded assets from power plants in Latin America and the Caribbean', *Environmental Research Letters*. IOP Publishing, 14(12). doi: 10.1088/1748-9326/ab5476.
- Hausfather, Z. and Peters, G. P. (2020) 'Emissions - the "business as usual" story is misleading', *Nature*, 577, pp. 618–620.
- Inter-American Development Bank (IDB) and DDPLAC (2019) *Getting to Net-Zero Emissions: Lessons from Latin America and the Caribbean*. doi: 10.18235/0002024.
- International Renewable Energy Agency (2020) *Renewable Power Generation Costs in 2019*, International Renewable Energy Agency. Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf.
- Masson-Delmotte, V. et al. (2018) *IPCC Special Report: Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers*, Intergovernmental Panel on Climate Change. doi: 10.1017/CBO9781107415324.
- Saget, C., Vogt-Schilb, A. and Luu, T. (2020) *Jobs in a Net-Zero Emissions Future in Latin America and the Caribbean*. Available at: <http://dx.doi.org/10.18235/0002509>.
- Solano-Rodríguez, B. et al. (2019) 'Implications of climate targets on oil production and fiscal revenues in Latin America and the Caribbean', p. 24. doi: <http://dx.doi.org/10.18235/0001802>.
- Till, B. et al. (2019) 'Global EV Outlook 2019 to electric mobility', *OECD iea.org*, p. 232. Available at: www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/.
- Vogt-Schilb, A. et al. (2019) 'Cash transfers for pro-poor carbon taxes in Latin America and the Caribbean', *Nature Sustainability*. Springer US, 2(10), pp. 941–948. doi: 10.1038/s41893-019-0385-0.
- Waisman, H. et al. (2019) 'A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies', *Nature Climate Change*. Springer US, 9(April). doi: 10.1038/s41558-019-0442-8.

COUNTRY PERSPECTIVES

ARGENTINA

COLOMBIA

COSTA RICA

ECUADOR

MEXICO

PERU

Como parte del número especial del DDPLAC sobre el análisis de estrategias energéticas, en el siguiente enlace puede encontrar artículos académicos, revisados por expertos, de cada uno de los equipos nacionales:

<https://www.sciencedirect.com/journal/energy-strategy-reviews/special-issue/105SPX6M5R6>

ARGENTINA

LLEGANDO A CASI CERO EMISIONES NETAS

Autores: Franciso Lallana, Gonzalo Bravo, Nicolás Di Sbroiavacca, Gustavo Nadal, *Fundación Bariloche, Energy Department, Argentina*.

Gaëlle Le Treut, *Centre International de recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED)*.

Mensajes clave

- Las medidas NDC de Argentina son congruentes en orientación con la descarbonización profunda, aunque no en el grado de profundización.
- Será necesaria la electrificación de casi toda la demanda final de energía para lograr la descarbonización.
- Es necesario en todos nuestros escenarios aumentar la generación de energía renovable variable en 50% para el año 2050.
- El desarrollo del programa hidro-nuclear que complementa el desarrollo de la energía renovable emerge como la opción favorita para alcanzar los objetivos de la descarbonización, con el mejor impacto en términos de actividad y empleo, y en la dinámica productiva.
- La disponibilidad de CAC (captura y almacenamiento de carbono) madura y competitiva y/o hidrógeno azul producido a partir de tecnologías de gas natural serán necesarias si Vaca Muerta – la principal formación de hidrocarburos no-convencionales – ha de jugar un papel importante y positivo en los escenarios argentinos al usar su gas natural para la generación de electricidad y, con el tiempo, la exportación.
- Las metas de emisiones per cápita en cumplimiento con el Acuerdo de París serán difíciles de lograr si la forestación no se convierte en una estrategia principal para mitigar y contrarrestar la actividad productiva de la agricultura y ganadería.
- Las principales necesidades de inversión requeridas para alcanzar los objetivos de la Descarbonización Profunda en Argentina demandarán recursos financieros más considerables, eficientes y cooperativos.
- Si se ha de alcanzar la descarbonización de la Argentina al mismo tiempo que el desarrollo nacional tan necesario, se tendrá que experimentar un cambio en el modelo nacional de desarrollo. Esto requiere de una Estrategia Nacional Integral, que sea aceptada por todos los actores. Tal estrategia debe ser liderada por una institución de coordinación inter-ministerial, incluyendo al sector privado; una estrategia meramente impulsada por el mercado es poco probable que alcance los objetivos de la descarbonización.
- Se tendrán que explorar los efectos del segundo orden de las medidas para demanda final en términos de recursos y usos económicos debido a cambios en la estructura de producción, como por ejemplo, cambios en la manufactura automotriz que surjan a raíz de la introducción de vehículos eléctricos, o la electrificación generalizada de los usos finales de la energía en los hogares y sectores de servicio.

Circunstancias Nacionales

Uno de los desafíos principales para Argentina es el de mitigar sus gases de efecto invernadero y al mismo tiempo alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) de las Naciones Unidas. Las exportaciones, principalmente de recursos naturales en los sectores de energía y agricultura, jugaron un papel importante en el crecimiento del país y ayudaron a la recuperación de la crisis del 2001: representan un 20% de la participación en el PIB para el periodo comprendido entre 2001 – 2015. Para el año 2015, 11% del GDP viene de las exportaciones. Se destaca que el 36% de la producción total de granos (oleaginosas y cereales) son exportados sin más pasos para agregar valor; a la vez, 18% de la producción total de carne vacuna fue hacia mercados externos. (Gobierno de Argentina, 2019a).

En Argentina, los recursos fósiles contribuyen de manera importante al suministro primario de energía (88% del total en 2015) y para el consumo final (77% del total en 2015). Aún cuando Argentina cuenta con una matriz de electricidad diversificada (con algunas plantas hidroeléctricas, nucleares y renovables intermitentes), la mayor parte de la electricidad se produce mediante plantas eléctricas térmicas de gas y combustibles fósiles, y la demanda final de energía del sector residencial se cubre principalmente con gas natural. Desde 2010, Vaca Muerta —la formación no-convencional de petróleo y gas— ha impulsado la independencia del país de los combustibles fósiles a la vez que añade potencial para ingresos por exportación adicional. Hay una visión ampliamente aceptada en el país que la explotación de estos recursos puede contribuir al desarrollo económico, a la recuperación de la autosuficiencia energética, y a la reparación de la balanza de pagos de la economía (Dumas, J. y Ryan, D. eds. 2019, Gobierno de Argentina, AGSE 2019). No obstante, si se han de cumplir las metas de la descarbonización profunda, este tipo de desarrollo de hidrocarburo no-convencional, tanto para uso directo como para hidrógeno azul (a base de metano con CAC), se requerirá de la disponibilidad tecnológica y económica de la captura y almacenamiento de carbono.

En sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), Argentina se ha comprometido a no exceder 483 MtCO₂eq en emisiones netas en el 2030; esto representa una reducción neta de 18% comparado con las tendencias de emisiones en un escenario tendencial, o de *business-as-usual*, pero es un incremento de 33% comparado con el nivel del año 2016. Los grandes esfuerzos de reducción se ubican en los sectores de energía y silvicultura; en segundo término, en los sectores de la agricultura, el transporte, la industria y los residuos.

De conformidad con lo dicho por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina, alrededor de 70% del esfuerzo de reducción en el escenario NDC base propuesto se efectuará en el sector productivo de la energía y demanda final de energía (edificios). Sin embargo, el Sector Agrícola de la economía ha recibido mucho menos atención por el desarrollo de medidas de mitigación; junto con la industria alimentaria, esto representa 8% del Producto Interno Bruto (PIB) del 2015. El Plan de Acción Nacional de Agro y Cambio Climático, lanzado recientemente por el Ministerio del Ambiente de Argentina, ofrece una breve mención de las medidas condicionales (2019a). La forestación sobresale como la palanca clave para aumentar las emisiones absorbidas. El transporte contó un 14% de la combustión de emisiones de combustibles fósiles en 2016 (Gobierno de Argentina, 2019b) y se espera que se duplique para el 2030 comparado con el nivel de 2015 en un escenario tendencial, o *business-as-usual*. Las promesas nacionales con respecto al clima especifican unas cuantas acciones, dirigidas principalmente a mejorar la eficiencia de transporte de carga por carretera, priorizando la vía férrea y el transporte público, entre otras medidas incondicionales que no revertirían las tendencias en aumento (SES y MINTRAN. 2017).

Argentina cuenta con un Plan Nacional de Adaptación para el desarrollo de estrategias sectoriales a mediano plazo (2030) para alcanzar las metas de descarbonización que sean compatibles con sus objetivos NDC revisados; sin embargo, las conclusiones iniciales muestran que aún distan mucho de los escenarios de la Ruta de Descarbonización Profunda (DDP) en lo que se refiere a reducciones de emisiones. Estas estrategias están aún bajo revisión y desarrollo, en manos de los Ministerios de Argentina, y cubren los sectores de energía, transporte, salud, industria, agricultura y ganadería, infraestructura y desarrollo de tierras y bosques (Gobierno de Argentina, 2019c).

El compromiso con las contribuciones NDC en este momento (hay nuevas en desarrollo para el 2021) son insuficientes para lograr los objetivos DDP, especialmente aquellos asociados con la demanda final, e implicaría más esfuerzos concentrados después de ese año. Alcanzar cero emisiones netas de CO₂ en los sistemas de energía y AFO-LU es técnicamente posible, pero las medidas propuestas para lograrlo varían mucho potencialmente en términos del nivel de incertidumbre del caso, los potenciales efectos de rebote, su costo por unidad en ahorro de emisiones, y su madurez tecnológica. Específicamente, las medidas de

mitigación que se dirigen a los sectores agrícola y de ganadería –que representan casi la mitad de las emisiones GEI en Argentina– generalmente están menos desarrollados y son más inciertos que aquellos dirigidos al sector energético. **Es más, el desarrollo de sumideros masivos de carbono requeridos para compensar las emisiones mediante la forestación requiere llevar a cabo evaluaciones de factibilidad y ambientales.** Logrando

así una meta de 2 toneladas per cápita de CO₂ para el periodo 2060/2070 **del sector energético**, a equilibrarse con emisiones negativas de la deforestación reducida y la forestación, **representa un alto nivel de incertidumbre** y constituye desafíos importantes vinculados a la estructura productiva de Argentina y sus metas de desarrollo nacionales en torno a la calidad de vida, la igualdad y la seguridad energética.

Metodología para modelar el proyecto

La construcción retrospectiva (*backcasting*) de rutas desde las metas para el 2050 hacia el presente permite identificar la secuencia de transformaciones técnicas y socioeconómicas requeridas a fin de lograr un objetivo de largo plazo para la descarbonización profunda, así como los impulsores subyacentes para habilitar las condiciones y las medidas políticas necesarias en un contexto de inercia, bloqueos e innovación. En la construcción de tales rutas se usó un método combinado de DDP cualitativo-cuantitativo (Waisman et al. 2019) que se basa en la complementariedad entre las narrativas exploratorias y su cuantificación como rutas por medio de una serie de modelos numéricos: el modelo de energía LEAP (Heaps, 2016), el modelo híbrido IMACLIM-ARG de equilibrio general computable (CGE) (Le Treut et al. 2019) y el modelo FABLE del uso de suelos (FABLE 2019). En combinación, estas herramientas permiten cuantificar las dimensiones socioeconómicas, de energía, y de uso de suelos de las rutas. Se construyeron dos alternativas contrastadas para mostrar cómo **se podría alcanzar la descarbonización profunda en Argentina, sin menoscavar otras metas de desarrollo económico.** Ambas implicaban cambios significativos para el sector energético y el sistema económico en general.

Dentro del marco del proyecto DDP LAC, la Fundación Bariloche recibió apoyo específico del grupo de investigación francés CIRED para desarrollar el modelo IMACLIM-Argentina, una nueva versión nacional del modelo IMACLIM-País. Esta capacidad para el modelado busca estudiar los impactos en la estructura económica de las acciones argentinas para mitigar el cambio climático, también conocido como “descarbonización” (BID y DDPLAC 2019). Se ha logrado el acoplamiento entre LEAP e IMACLIM en cada paso de la simulación, lo cual asegura la consistencia de los análisis. Concretamente, los resultados clave de los escenarios LEAP, tales como el contenido energético de la economía, el monto de las inversiones para el sector energético (por sectores) y los costos asociados (básicamente costos de

capital y laborales), se usan como información para el IMACLIM-ARG a fin de obtener un retrato integral y completo de las implicaciones de la hoja de ruta DD, y capturar los impactos de los sistemas energéticos contrastados en el contexto más amplio de la economía. Con el tiempo se usarán los resultados del IMACLIM-ARG sobre niveles de crecimiento de la producción para informar retroalimentar a LEAP y, de esta manera, adaptar los escenarios energéticos. Este procedimiento se puede repetir cíclicamente hasta que los modelos converjan.

Por medio de esta metodología de modelado **se han desarrollado y evaluado dos escenarios de descarbonización profunda** que se compararán con el escenario tendencial NDC. En cada uno de ellos se ha explorado la reconfiguración energética necesaria para alcanzar una tendencia de emisiones totales de 2 toneladas de CO₂ per cápita para el 2050. Será necesaria una electrificación casi completa de los usos finales de la energía para lograr los objetivos DDP en ambos escenarios. Desde la perspectiva energética, los escenarios difieren principalmente respecto al uso o no uso del gas natural de Vaca Muerta. Esta alternativa requiere que se adopten tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CAC). En contraste, el otro escenario DD depende del desarrollo intensivo de recursos hidroeléctricos y nucleares. En ambos casos hace falta desarrollar significativamente también las fuentes renovables variables para la generación de electricidad hasta cerca del 50% de los niveles totales de producción eléctrica.

El marco acoplado permite identificar tanto los impactos macroeconómicos como los efectos directos e indirectos de los mapas de ruta DD generados por el modelo de energía. En efecto, el modelo IMACLIM-ARG permite resaltar los cambios económicos estructurales de las estrategias DD contrastadas. Ayuda a comprender las implicaciones de la transición, de acuerdo con la estructura económica inicial que se le haya dado, sobre: estructura del PIB, empleo sectorial y creación de empleos, estructura de valor

agregado y sobre las condiciones habilitadoras relativas a estrategias financieras o industriales. Los análisis en marcha muestran resultados preliminares interesantes.

Pese a la falta de datos actualizados de la estructura económica para la información del IMACLIM-ARG correspondiente al año base, calibramos el modelo. El acceso a

estadísticas nacionales más recientes ayudaría a garantizar una mayor robustez al marco de modelado. Asimismo, información más detallada también permitiría desagregar los sectores clave implícitos en los agregados (por ejemplo, industrias pesadas) y por ende, profundizar en el análisis sectorial.

Hallazgos clave en las políticas

Una de las conclusiones principales del estudio DDP argentino es que a pesar de que en el modelado se consideró una serie significativa de medidas de mitigación en los sectores de energía y de LULUCF, será necesario incrementar la forestación si se desea reducir las emisiones netas a menos de 2 toneladas de CO₂ per cápita al año. Si bien existe un elevado nivel de incertidumbre y riesgo asociados a esta medida y aún no se ha realizado un análisis de factibilidad detallado, bajo las circunstancias adecuadas y un marco integral de planificación de uso de suelos dirigido por el Estado, lo anterior podría resultar en la preservación e incremento de las reservas forestales (naturales y plantadas), con beneficios potenciales derivados de la provisión de servicios de ecosistemas (por ejemplo, prevención de erosión de suelos, así como protección de las cuencas y ecosistemas), lo que a su vez puede traer a la sociedad beneficios económicos y de salud tangibles. Estos resultados potencialmente positivos también corresponden a varios de los objetivos nacionales de desarrollo sostenible. Los escenarios modelados reducen la fracción energética de las emisiones per cápita a prácticamente cero para el año 2050. Sin embargo, no es posible extender la meta a todos los sectores debido a la imposibilidad de reducir concurrentemente el CO₂ por el uso no energético del suelo, metano (CH₄) proveniente del ganado, y las emisiones agrícolas de N₂O. En este sentido, la acción de la **forestación** como sumidero de CO₂ surge como requisito para cumplir con el Acuerdo de París, que exige cero emisiones de CO₂ para el 2050 y 1.5°C, y para el 2070 en 2°C, y -50% CH₄ en todo el mundo entre 2030 y 2040. Es de notar que esto realza la distorsión producida por la contabilización no diferenciada de las emisiones provenientes de distintas fuentes y actividades, un tema éticamente discutible en vista de que un país que produce granos y ganado para la exportación no puede alcanzar las metas requeridas compensando con sus emisiones de energía. Además, la implementación de políticas nacionales en estos sectores primarios ha representado un reto histórico, en tanto los cambios en los patrones y metodologías de producción han obedecido principalmente a una productividad de corto plazo y a los precios de mercado.

Respecto al sistema energético, los escenarios DDP de Argentina también subrayan el **rol de la electricidad hídrica y nuclear en los escenarios de cero emisiones**. Esto es consistente con estrategias anteriores en el sector que proporcionaban al país energía confiable para estimular el desarrollo, incrementar la seguridad energética, reducir la dependencia en los combustibles fósiles, ayudar a desarrollar sectores industriales estratégicos y, en el caso de la energía nuclear, producir conocimiento y derivados tecnológicos. Adicionalmente, esta estrategia es **compatible con una mayor proporción de fuentes renovables variables** de electricidad, lo que requeriría que el estado nacional desempeñase un papel activo de liderazgo.

Además, a partir del análisis preliminar realizado con LEAP-IMACLIM, **las estrategias DD** basadas en la producción de gas con CAC o en el desarrollo de energía hidroeléctrica y nuclear **no constituyen un costo macroeconómico significativo, pero sí inducen cambios cuantiosos en la estructura del PIB, impactos contrastados entre los sectores en cuanto a empleo y producción, así como un cambio fuerte en las fuentes de valor agregado en comparación con el escenario NDC de base**. Un DD basado en energía hídrica y nuclear requiere mayor inversión, lo cual pesa más en el PIB que un mapa de ruta basado en gas con CAC, pero a la larga requiere menos compensación con emisiones negativas. Ambos escenarios DD exigen bastante construcción de infraestructura y esto lleva a una mayor generación de empleos para el sector hasta el 2050. El sector de producción de energía declina, pero a medida que se vuelva más intensiva en mano de obra se generarán más empleos, sobre todo en el escenario DD con el desarrollo hídrico y nuclear. Estas conclusiones parecen robustas, pero también son sensibles a las estrategias industriales. Los mapas de ruta DD deben acompañarse de discusiones y recomendaciones para ubicar la producción de los bienes necesarios para cumplir con las metas de mitigación. La relocalización industrial, o una dependencia fuerte en las importaciones, podrían dañar a la economía. Asimismo, podrían incorporarse otras políticas que acoplen el sistema energético al productivo (como

la reestructuración del complejo nacional de manufactura automotriz para producir autos eléctricos). No se abordó esta clase de análisis, ya que no había diferencias entre ambos escenarios respecto a las medidas en la demanda final. Sin embargo, la utilización y disponibilidad de recursos o insumos económicos que estos cambios requieren podrían afectar la comparación debido a los efectos de segundo orden.

Los costos de algunas tecnologías cero carbono, vinculados principalmente al sector energético, disminuyen rápidamente mientras que el *status quo* se torna crecientemente costoso y expuesto a los riesgos de la transición, que incluyen el abandono de los activos. Aunque los costos de la inacción podrían ser altos, una valoración integral de los costos y beneficios deberá considerar los **costos de largo plazo de los distintos escenarios desde el punto de vista social**, interiorizando los impactos en el empleo y la salud, los accidentes evitados, la congestión y otros temas. Esta clase de análisis es muy complejo y sumamente incierto en un marco de largo plazo, pero se pueden conseguir algunas perspectivas por medio del modelado integrado de la economía de la energía.

En los sectores residencial y servicios sobresalen las **medidas complementarias clave de la demanda**, las mejoras en los refrigeradores, las respectivas eficiencias de los equipos de aire acondicionado e iluminación (diodos emisores de luz), así como de la envolvente térmica (aislamiento), la penetración de bombas de calor eléctricas para calefacción y de calentadores solares para agua caliente. Asimismo, en vista de la penetración casi total de los vehículos eléctricos y de las acciones ya previstas (NDC base) para mejorar la eficiencia en el transporte carretero de carga, se propone priorizar los ferrocarriles y el transporte público como acciones necesarias para el sector del transporte.

Las proyecciones para usos de suelos relacionados con el **ganado y la agricultura** sugieren que la suma de pastoreo más agricultura permanece constante. Se supone una reducción en emisiones por cabeza de ganado de 30% a 40% para el año 2050 en comparación con el escenario tendencial (lograda por medio de la modificación de la dieta y otras medidas; por ejemplo, taninos, lípidos, gestión del pastoreo, procesamiento de alimentos). Sin embargo, sigue existiendo mucha incertidumbre respecto a los niveles de reducción del metano entérico y su permanencia en el tiempo. A su vez, la agricultura reduce sus emisiones entre 20% y 30% en comparación con el escenario base NDC, por medio de mayor rotación de cultivos, la incorporación de sus residuos en el suelo, mejoras en el uso eficiente del nitrógeno (por ejemplo: inhibidores de la liberación de nitrógeno, fijadores biológicos del nitrógeno) además de aumentar la proporción de cereales respecto a la de las oleaginosas.

Por último, el desarrollo de depósitos no convencionales de petróleo y gas en Vaca Muerta claramente choca con las estrategias DDP a menos que fuera a utilizarse la captura y almacenamiento de carbono y/o la producción de hidrógeno azul. Sin embargo, como esto se considera clave para la estrategia de desarrollo de largo plazo de Argentina, no puede soslayarse a menos que se encuentre una alternativa apropiada. Ello significa que para cumplir con la meta de descarbonización profunda cero emisiones de energía y a la vez continuar con el desarrollo de Vaca Muerta, se necesitarán esfuerzos financieros internacionales para apoyar a los proyectos locales de investigación y la promoción de proyectos piloto para la captura y almacenamiento de CO₂.

REFERENCIAS

- Argentine Government Secretariat of Energy (AGSE) (2019). Mastronardi, L and Caratori, L editors. Escenarios Energéticos 2030 Documento de Síntesis, Dirección Nacional de Escenarios y Planeamiento Energético. Subsecretaría de Planeamiento Energético. Secretaría de Gobierno de Energía http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/planeamiento/2019-11-14_SsPE-SGE_Documento_Escenarios_Energeticos_2030_ed2019_pub.pdf
- Argentine Secretariat of Environment and Sustainable Development (SESD) (2015). Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/cambioclimatico/comunicacionnacional/tercera>
- Argentine Secretariat of Environment and Sustainable Development (SESD) and MINTRAN (2017). SESD., "Plan Nacional de Mitigación del Sector Transporte -PNMT."
- Argentine Government Secretariat of Environment and Sustainable Development (AGSESD) and Secretariat of Agriculture, Livestock and Fisheries (2019a). National Agro and Climate Change Action Plan. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/planessectoriales/Agro>
- Argentine Government Secretariat of Environment and Sustainable Development (AGSESD) (2019b). Third Biennial Report on the Update of Argentina to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). <https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NacionalReports/Documents/9587041>

[Argentina-BUR3-1-3er%20Informe%20Bienal%20de%20la%20Republica%20Argentina.pdf](#)

- Argentine Government Secretariat of the Environment and Sustainable Development, (Argentine AGSESD) (2019c) National Plan of Adaptation to Climate Change. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambioclimatico/acuerdo-de-paris/adaptacion/plan-nacional>
- BID y DDPLAC (2019). Como Llegar a Cero Emisiones Netas: Lecciones de América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C.
- Dumas, J. and Ryan, D. editores (2019): Transición Energética Argentina al 2050. Hacia una visión compartida de la transición energética argentina al 2050. Co-Editores: Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (UBA), Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), Fundación AVINA, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Secretaría de Gobierno de Energía. <http://www.escenariosenergeticos.org/download/718/>
- FABLE (2019). Pathways to Sustainable Land-Use and Food Systems. 2019 Report of the FABLE Consortium. Laxenburg and Paris: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Sustainable Development Solutions Network (SDSN). https://www.foodandlandusecoalición.org/wp-content/uploads/2019/09/Fable-interimreport_complete-high.pdf
- H. Waisman, C. Bataille, H. Winkler, F. Jotzo, P. Shukla, M. Colombier, G. Anandarajah, R. Boer, Y. Cho, P. Criqui, A. Denis-Ryan, S. Dhar, M. Fishedick, M. Gaeta, C. Gesteira, B. Haley, J.-C. Hourcade, M. Kainuma, E.L. La Rovere, Q. Liu, O. Lugovoy, T. Masui, S. Mathy, K. Oshiro, R. Parrado, M. Pathak, V. Patshnikov, S. Pye, G. Safonov, S. Samadi, D. Sawyer, U. Siagian, T. Spencer, F. Teng, J. Tovilla, H. Trollip, M.-R. Virdis, J. Williams, S. Young, A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies , Nature Climate Change. 9 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0442-8>.
- Heaps, C.G. (2016). Long-Range Energy Alternatives Planning (LEAP) System. Somerville, MA, USA: Stockholm Environment Institute. <https://www.energycommunity.org>.
- Le Treut, G., Combet, E., Lefèvre, J., Teixeira, A. and Baudin, A.. (2019). "IMACLIM-PaísPlatform : A Country-Scale Computable General Equilibrium Model." Github. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3403961>

COLOMBIA

OPCIONES PARA LA ESTRATEGIA DE DESCARBONIZACIÓN PROFUNDA PARA MEDIADOS DE SIGLO

Ricardo Delgado³, Thomas B. Wild⁴, Ricardo Arguello⁵, Leon Clarke⁵

Mensajes clave

- Encontramos que una prolongación en el tiempo de las políticas actuales y anunciadas resulta insuficiente para lograr el resultado deseado de alcanzar la neutralidad en carbono para el año 2050⁶. La descarbonización profunda requiere de cambios mayores para que pueda implementarse plenamente para el 2050. Todavía queda tiempo para planificar una transición fluida y económica. Disminuir la ambición en el corto plazo podría no solo reducir la efectividad de la descarbonización sino también aumentar innecesariamente los costos de la transición reduciendo los beneficios.
- Con objeto de aportar información para la NDC de Colombia, este país deberá construir sus ELP (estrategia de largo plazo) en el contexto de sus circunstancias y metas sociales únicas, y al mismo tiempo cumplir con el objetivo de cero emisiones netas más adelante en este siglo. Aliviar la pobreza exige emplear los recursos actualmente disponibles para apoyar una transición temprana hacia una economía baja en carbono.
- La eficiencia energética es importante, aunque a la descarbonización se llega principalmente con el uso de energía más limpia, e.g., cambiar a combustibles muy bajos en carbono y de cero carbono. Esta transición podría darse de una manera ordenada si se comienza pronto y con esfuerzos incrementales y sostenidos.
- La electricidad será el combustible dominante en la descarbonización. La generación hídrica, eólica, solar y con base en biomasa sostenible abastecerá la mayor parte de electricidad y ello requerirá explorar mejoras en la red y opciones de respaldo ("power to gas", baterías, almacenamiento de electricidad mediante bombeo de agua, programas de respuesta de la demanda, entre otros).
- El sector eléctrico incrementará su actividad y se requiere que realice las transformaciones que le permitan proveer un servicio confiable, asequible y de cero emisiones netas. La anticipación es indispensable para aprovechar las nuevas posibilidades de negocio dentro de este sector. Tenemos 30 años para planificar, construir y diseñar la operación de un sistema eléctrico más grande que el actual y de cero emisiones netas de CO₂. No debemos olvidar, sin embargo, que 30 años podrían representar la vida útil de una nueva planta de electricidad, de modo que para la meta de largo plazo es indispensable planificar cuidadosamente las inversiones de los próximos años.
- En un escenario de descarbonización profunda hay un aumento en la producción de productos agrícolas (esto incluye bioenergía) y las exportaciones. Se tiene que detener la deforestación y para ello es necesario habilitar los suelos para producir alimentos y biomasa adicionales mediante la intensificación de los cultivos y el ganado.
- Los mercados internacionales de petróleo y gas natural seguirán activos en el 2050 con demandas inferiores y una elevada incertidumbre en los precios. La descarbonización en Colombia no eliminará a las industrias nacionales de gas y petróleo, pero para mediados del siglo su competitividad dependerá en gran medida de las circunstancias internacionales.
- El transporte tiene dos líneas de acción hacia la descarbonización. Primeramente, el transporte público necesita apoyar a la creciente demanda de pasajeros en los próximos años, y con el tiempo, cambiar a vehículos de cero emisiones netas. Los modos privados deberán estabilizar su participación a los niveles actuales y también cambiar a vehículos de cero emisiones netas. En general, la combinación de energía para el transporte necesita transitar hacia los biocombustibles de segunda y tercera generación, a la electricidad y el hidrógeno, concentrándose en estos dos últimos en los entornos urbanos debido a sus necesidades respecto a calidad del aire. Respecto a carga, se requieren modelos alternativos como transporte ferroviario y fluvial, así como disminuir las emisiones con la introducción de camiones de trabajo pesado impulsados por biocombustibles avanzados, GNL e hidrógeno.

³ Escuela de Ingeniería. Universidad de los Andes, Colombia

⁴ Universidad de Maryland, Maryland, EE.UU.

⁵ Universidad del Rosario y Universidad de Ibagué, Colombia

⁶ Al momento de redactar este informe la actualización de la NDC colombiana a ser publicada en diciembre de 2020 aún no era pública. La nueva meta de mitigación a 2030 implica una desviación que puede estar alineada con la descarbonización hacia mitad del siglo.

La posición de Colombia

Al igual que todos los países del mundo, Colombia debe construir sus ELP en el contexto de sus propias circunstancias singulares y metas sociales, y en el corto plazo con la intención de recuperarse de la pandemia de COVID. El contexto económico actual de Colombia se caracteriza por una alta participación del sector de servicios en el PIB, seguida por participaciones menores de las actividades de manufactura y agroindustria, y minería. Sin embargo, tanto el frente externo como el fiscal dependen notablemente de las exportaciones de combustibles fósiles. Las emisiones totales de Colombia en 2014 sumaron 214.3 Mt CO₂e, lo que convierte al país en un emisor per cápita relativamente bajo (4.56 ton CO₂e per cápita). El sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de suelo (AFOLU) es el mayor emisor con emisiones netas que representan el 50% del total; le sigue el sector energético, que representa el 39%. Dentro de la categoría AFOLU, los cambios en los usos del suelo son los responsables del 60% de las emisiones. Dentro del sector energético, el mayor emisor es el sector del transporte, que representa 36% de las emisiones en la categoría (IDEAM, et al., 2017).

Para disminuir las emisiones es indispensable controlar la deforestación. El país tiene grandes extensiones de bosques no gestionados. Esto despierta inquietudes respecto a la deforestación a la que se debe la mayor parte del cambio en uso del suelo y las emisiones asociadas a ella. Por otro lado, **la producción eléctrica actual es relativamente baja en emisiones** porque gran parte es hidroeléctrica [(IDEAM, et al., 2017; UPME, 2016; XM, 2015), y el país muestra un consumo per cápita bajo de energía. Sin embargo, incluso a tasas moderadas de crecimiento económico, en el lapso de las próximas tres décadas el PIB colombiano aumentará a cuando menos el doble, en tanto el sector energético crecerá sustancialmente. Al igual que para otros países, la prosperidad constituye una meta para Colombia; para lograrla, las estrategias para el desarrollo de mediados del siglo deberán identificar las sinergias apropiadas entre la protección del clima y un futuro próspero y sostenible.

Meta y alcance del estudio

El desarrollo de estrategias para mediados del siglo enfrenta el desafío de la incertidumbre relacionada con los desarrollos futuros en un horizonte de varias décadas desde hoy en día, así como la complejidad de los sistemas tecnológicos y sociales subyacentes que deben evolucionar para reducir las emisiones y limitar el cambio en la temperatura. Pese a lo anterior existe creciente evidencia de que es posible lograr cero emisiones netas.⁷ Aun cuando no haya manera de manejar totalmente estos desafíos, la economía de la energía formal, la evaluación integrada u otros modelos similares se han empleado ampliamente para producir escenarios del futuro consistentes en sí mismos para informar la planificación (Winkler et al., 2017; Raubenheimer et al., 2009; Winkler, 2009). Con este propósito, en este estudio usamos el Modelo de Evaluación de Cambios Globales (GCAM, por sus siglas en inglés) para desarrollar tres rutas representativas hacia reducciones profundas de las emisiones en Colombia para mediados del siglo.

Exploramos lo que podría suceder: 1) con la actual trayectoria de las políticas colombianas, 2) en el contexto de una reducción del 30% en emisiones de CO₂ para mediados del siglo, y 3) en un escenario de 90% de reducción (estos dos últimos son consistentes, respectivamente, con los escenarios de incremento de 2 y 1.5 grados en las temperaturas del planeta). Estos escenarios estilizados de política climática no tienen por objeto servir de representaciones muy fieles de cómo será la estrategia de desarrollo bajo en carbono en Colombia. La ELP colombiana posiblemente consistirá en centenares de medidas implementadas entre numerosos sectores y subsectores. No obstante, como estas medidas serán guiadas por series globales y comunes de intervenciones estratégicas y articuladas, nos propusimos como meta contribuir a identificar y delinear dichas intervenciones de manera que claramente brinden perspectivas para la toma de decisiones en el seno de la planificación climática y económica de largo plazo.

⁷ <https://publications.iadb.org/en/getting-net-zero-emissions-lessons-latin-america-and-caribbean>

Hallazgos principales

Vemos que resulta insuficiente prolongar en el tiempo las políticas actuales y anunciadas para alcanzar la deseada neutralidad en carbono para el 2050.

De hecho, pese a estos esfuerzos, las emisiones seguirán aumentando a menos que se implementen medidas adicionales más ambiciosas⁸. **Asimismo, nos parece importante distinguir entre gases de CO₂ y los que no lo son en el contexto de países como Colombia, donde el sector agrícola tiene relevancia económica en el momento actual y como motor del crecimiento futuro.** En efecto, las emisiones agrícolas apenas se reducen modestamente en nuestros tres escenarios, en vista de que el sector debe abastecer de alimentos y a la demanda energética intermedia en un contexto en el que el comercio internacional es importante. Esto también lleva a incrementos significativos en los suelos agrícolas, que el país tiene el potencial de realizar sin aumentar la deforestación (lo cual demanda una adecuada intensificación agrícola).

Se requiere actuar en el corto plazo para alcanzar con éxito esta meta de mediados de siglo. Aun cuando el sector AFOLU es en estos momentos la mayor fuente de emisiones en el país, se necesitan esfuerzos de mitigación en todos los demás sectores. Se tiene que controlar la

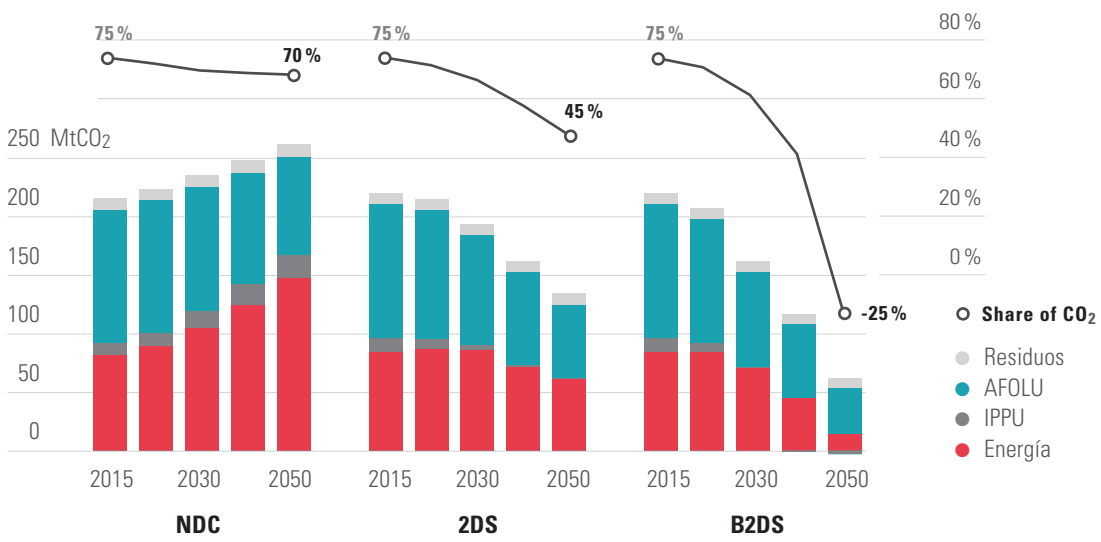
deforestación, así como las emisiones de CO₂ en el sector energético y toda ELP debe abordar el incremento de dichas emisiones en forma temprana. Ello obliga a generar energía por medio de fuentes no emisoras y que los usuarios finales cambien en la medida de lo posible a vectores energéticos que soporten la utilización de dichas fuentes (por ejemplo, la electricidad, los biocombustibles), y que el uso de la energía se controle⁹ hasta donde sea factible. Es posible reducir rápidamente las emisiones por electricidad que terminan por servir de sumidero para el CO₂, a través del uso de bioenergía aunada a la tecnología de captura y almacenamiento de carbono (CCS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, **la CAC habría de explorarse como opción con mucho cuidado debido a la incertidumbre de su futura disponibilidad comercial.** El país no debe depender de la disponibilidad de CCS y tales expectativas no deben frenar las transformaciones necesarias para contar con un sector energético 100% renovable.

⁸ Al momento de redactar este informe el país estaba actualizando su NDC. La meta propuesta en esa actualización requiere de la implementación de medidas mucho más ambiciosas de mitigación y puede poner al país en una trayectoria que le permita alcanzar la descarbonización en 2050.

⁹ Mediante eficiencia energética y programas de ahorro.

Figura 13. Emisiones anuales de gases de efecto invernadero y participación del CO₂ en los tres escenarios modelizados

Políticas actuales (NDC), Escenario 2 °C (2DS) y Escenario 1.5 °C (B2DS)



Se requiere de electricidad limpia para soportar el crecimiento de la demanda.

La electricidad limpia proporcionaría a los sectores típicamente más difíciles de descarbonizar, como el transporte de carga y la industria, más margen para limitar sus emisiones. Los adelantos recientes en la tecnología de las baterías también hacen factible que el sector del transporte, incluyendo el de carga, pueda convertirse en otro componente potencial de la estrategia de descarbonización de Colombia, ligada íntimamente a la reducción de emisiones en el sector eléctrico.

Como es de esperar, la demanda final de energía aumenta rápidamente impulsada por el crecimiento de la población y de sus ingresos.

La reducción de emisiones se logra mediante mejoras en la intensidad energética, así como en la intensidad del carbono en la energía empleada. Las reducciones en la intensidad energética fundamentalmente reflejan cambios tecnológicos tales como dispositivos más eficientes, la utilización de modalidades públicas en el transporte de pasajeros, los cambios modales para la carga, así como algunos cambios en el comportamiento del usuario final. No obstante, aun cuando sostenidas, estas mejoras no constituyen el principal motor del cambio. Este papel está reservado a la mejora en la intensidad del carbono de la energía, a través de fuentes con menos emisiones, o de fuentes renovables que sustituyen a los combustibles intensivos en carbono.

La descarbonización implica ajustes significativos en la matriz energética.

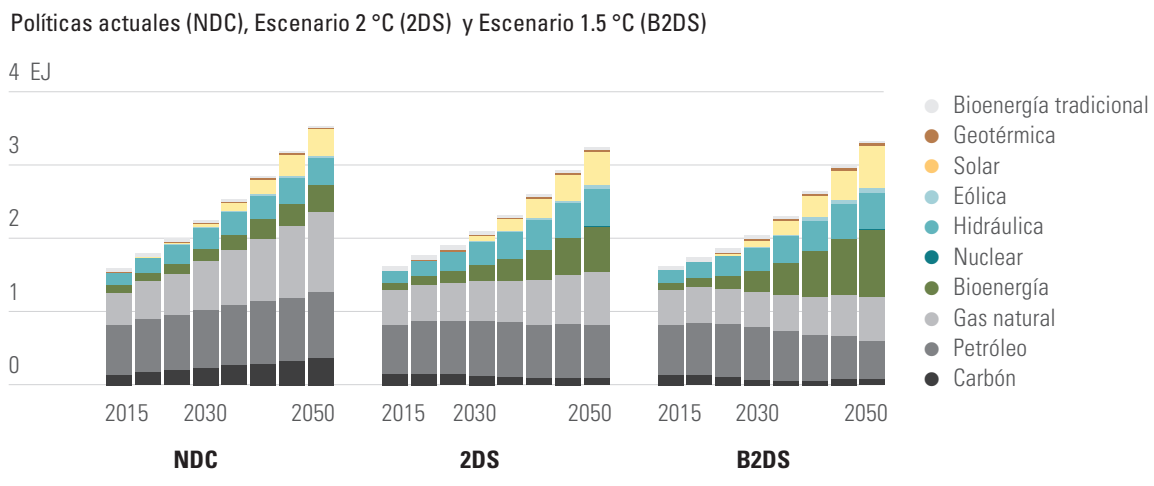
Las fuentes incluyen la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, nuclear, fósil, la bioenergía o bioenergía aunada a la captura, almacena-

miento y utilización del dióxido de carbono (CCUS, por sus siglas en inglés). Si bien hoy la combinación todavía no puede preverse con certeza, nuestros resultados permiten señalar tres temas importantes en el contexto colombiano: el rol de las fuentes renovables; el rol de los biocombustibles sostenibles de segunda y tercera generación, en vista de potencial de aporte al desarrollo rural y de la posibilidad de usar bioenergía tanto nacional como internacionalmente; y la manera en que podrían seguirse desplegando los recursos fósiles dentro de la combinación energética colombiana y las implicaciones de todo esto en los requerimientos de CCUS.

Para que se dé la descarbonización, la participación de los renovables en la combinación primaria de energía tendrá que ser más del doble para el 2050,

principalmente por medio de incrementos sustanciales en la utilización de la bioenergía y energía solar. La energía hidroeléctrica conserva su importancia pero crece a una tasa menor en el tiempo. El incremento en la penetración solar y eólica y la utilización biocombustibles avanzados exige inversiones y estrategias para gestionar una red eléctrica más adaptada a los retos que presentan los recursos intermitentes y que realice planificación de largo plazo con miras a realizar los desarrollos que la lleven a la carbono neutralidad. Todo lo anterior en el contexto de un clima cambiante que podría impactar la temporalidad y disponibilidad de energía hidroeléctrica. Por otro lado, los combustibles fósiles son pieza indispensable en este rompecabezas no solamente por su papel en el sistema energético nacional, sino también por su importancia económica actual y proyectada. En este caso, el futuro de la industria de los combustibles fósiles podría depender en

Figura 14. Consumo de energía primaria por fuente en los tres escenarios modelizados



gran medida de las demandas y los precios en el mercado internacional y de la disponibilidad y costo de las tecnologías CCUS que se están desarrollando en estos momentos (y que son altamente inciertas en cuanto a su efectividad y factibilidad tecno-económica).

La posible utilización de CCUS demanda un mayor conocimiento de su potencial y limitaciones en el futuro sistema energético de Colombia (Williamson, 2016). Cualquier alternativa requerirá de una mayor utilización de fuentes de baja emisión eléctrica, incluyendo la energía solar, eólica, la bioenergía y posiblemente la energía nuclear, así como un uso más agresivo de la bioenergía y electricidad en el transporte y la industria. La electricidad será el combustible dominante para la descarbonización, en tanto que el consumo de gas natural empieza a disminuir, y prácticamente se elimine el carbón

en los sectores de uso final. Por lo tanto, los sectores energéticos finales deben evitar ampliar el uso de gas natural y carbón, para enfocarse en aumentar la electricidad y los líquidos de la biomasa a fin de ubicarse en el camino para llegar a la estabilización climática.

Actualmente el transporte es el sector energético que más contribuye a las emisiones de CO₂ y se espera que siga creciendo su actividad. Calculamos que el transporte carretero crecerá 2.2 veces entre 2015 y 2050, y tendrán que proporcionarse servicios de transporte descarbonizados para los sistemas de transporte público que crecerán para atender más de 70% de la demanda total de movilidad por carretera para el 2050 (revirtiendo la tendencia hacia el uso de vehículos privados a medida que aumenta el ingreso per cápita). Además, calculamos que para el 2050, 64% de los sistemas de transporte público

Figura 15. Generación eléctrica por fuente en los tres escenarios modelizados

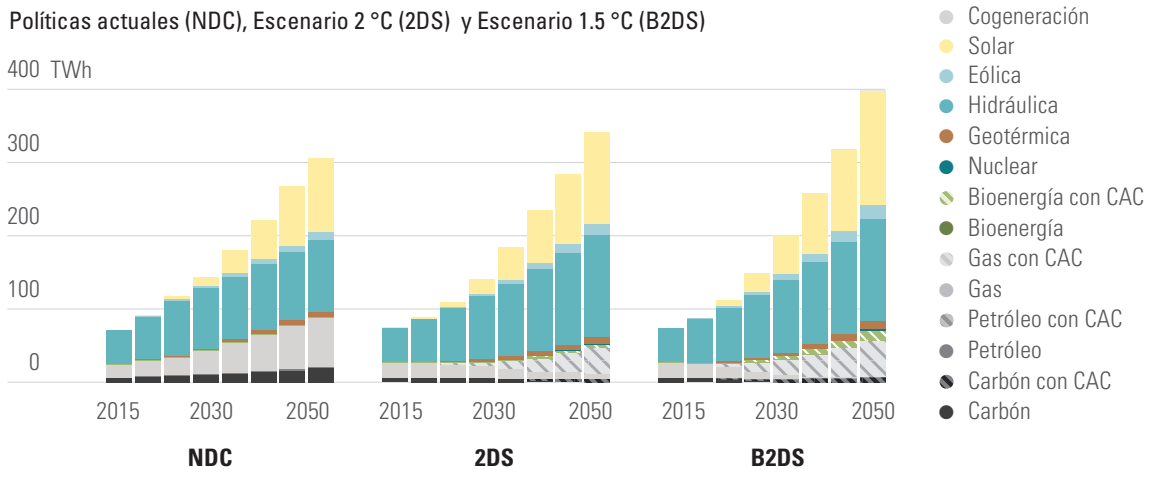


Figura 16. Kilómetros motorizados anuales recorridos por los pasajeros (izquierda) y combinación de energía para el transporte de pasajeros (derecha) en el escenario de 1.5 °C

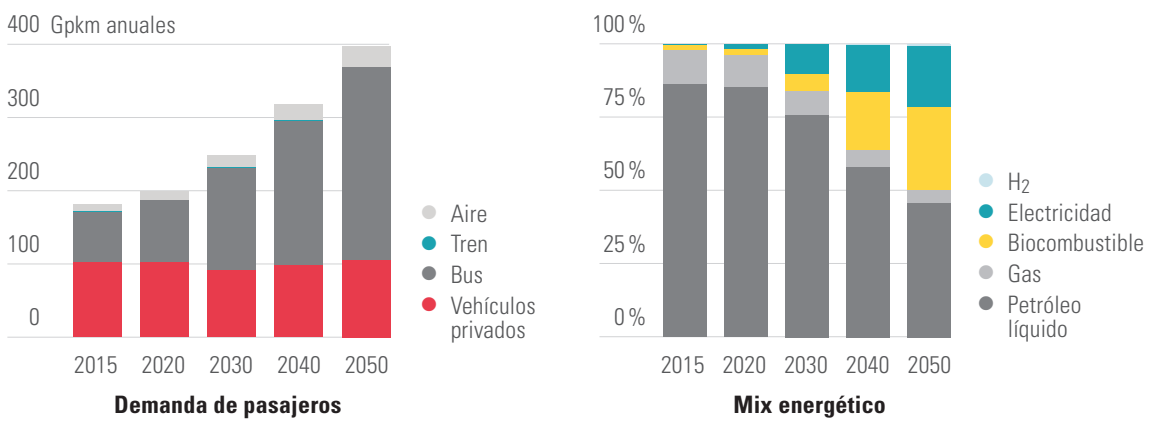
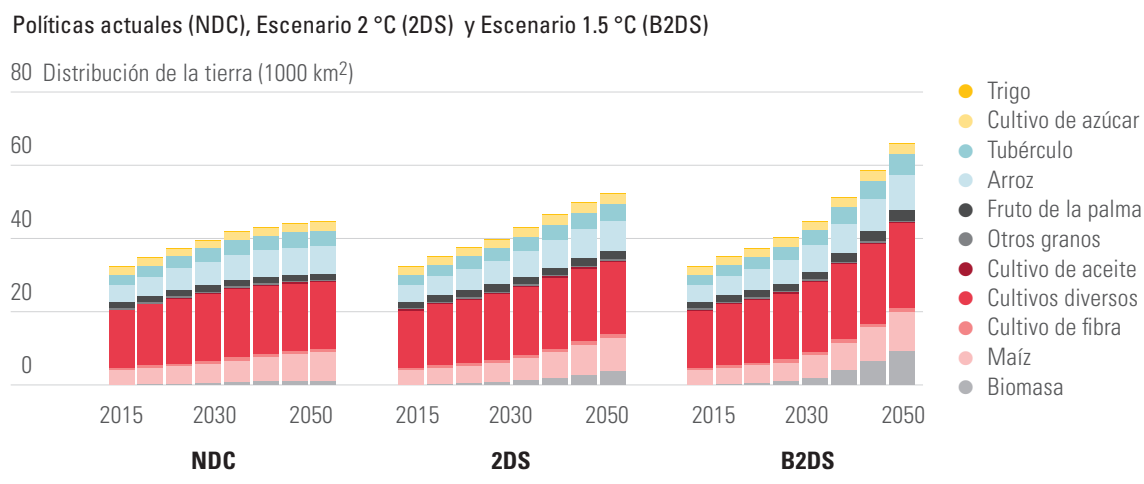


Figura 17. Distribución de las tierras agrícolas por cultivo en los tres escenarios modelizados



tendrán que alimentarse con electricidad, y que el resto de la energía consistirá en una combinación de gas natural, líquidos fósiles y biocombustibles.

Las estrategias para atender la deforestación constituyen un componente indispensable en cualquier ELP colombiana. En vista de la complejidad de la dinámica que subyace la deforestación, en este estudio el comportamiento de la misma se desarrolló de manera exógena al modelo GCAM. Se seleccionó una trayectoria de deforestación que se mantuviera consistente con los requerimientos de suelos en la producción agrícola y bioenergética. Proyectamos un fuerte incremento en las actividades agrícolas y sus demandas de suelos debido a una mayor producción de biomasa para energía y de alimentos. Un desarrollo así respondería a una mejora en las actividades rurales y a una oportunidad económica más amplia para la economía nacional. Sin embargo, habilitar suelos adicionales para la producción de alimentos y biomasa mientras se reduce la deforestación, e incluso aumenta la reforestación, representa un reto fundamental.

Es indispensable intensificar la producción de ganado para liberar áreas que puedan usarse para una mayor producción de cultivos, con énfasis en la biomasa. Pasar de la actual densidad de aproximadamente 0.8 cabezas de ganado por hectárea a 2 cabezas por hectárea podría liberar unos 12 millones de hectáreas para otros usos en la agricultura (y con ello se duplicaría la superficie actual sembrada). Esto ayudaría a acabar con la presión sobre los bosques naturales en algunas regiones críticas, así como a incrementar la forestación y la restauración de ecosistemas. Las herramientas importantes para lograr esta meta incluyen continuar

desarrollando tecnologías apropiadas para la producción de ganado, brindar asistencia técnica a los campesinos, agilizar y fortalecer las prácticas de comercialización. Se puede facilitar la reducción de la deforestación y dar mejor uso a los suelos disponibles para la agricultura (un componente clave para mejorar los ingresos en los hogares rurales), por medio de procesos adecuados para la planificación de suelos e intensificación de la agricultura (especialmente en el sector ganadero). Esto permitirá una reasignación parcial de las actividades agrícolas e incrementar la producción de forma tanto compatible con cero emisiones netas como con la asequibilidad de los alimentos y bienes intermedios.

Conclusiones

Los escenarios en este estudio demuestran que las políticas actuales y anunciadas de Colombia hasta antes de 2020 no son compatibles con la descarbonización profunda. Seguir las puede conllevar a elecciones tecnológicas que aumentarían el riesgo de activos abandonados y podría aumentar el reto del cambio climático.

Las trayectorias planeadas con acciones tempranas podrían alcanzar la meta de estabilizar el clima, mejorar la economía nacional, y ayudar a Colombia a alcanzar los ODS al mismo tiempo. En términos de tiempos, la única acción a corto plazo requerida por casi todos los escenarios es que haya una pronta eliminación del carbón para consumo interno; indicar una estrategia de transición justa para este sector es algo que se debe implementar tan pronto como sea posible. Todas las demás transformaciones dan más espacio para la transición, pero no hay tiempo que perder. Sin incluir el carbón, aún hay tiempo de usar el inventario actual de combustibles fósiles y otros recursos dentro del plazo de su vida útil. No obstante, se requerirá que las inversiones nuevas se hagan teniendo en cuenta la meta de descarbonización para medio siglo. Habrá que enviar señales claras a los mercados con referencia al compromiso colombiano de cumplir con la meta de descarbonización para medio siglo. Tener claridad abriría la puerta a nuevas oportunidades de negocio, tal como la intensificación de las actividades agrícolas, el despliegue de una industria de biomasa avanzada, el desarrollo de un sector energético más moderno y avanzado, oportunidades para la industria local en el desarrollo de la electromovilidad y su infraestructura, entre otros. Una ruta planificada hacia la descarbonización profunda no es incompatible con la

culminación exitosa de los negocios en curso (después del final de la vida útil de los activos y proyectos) y podría llevar a nuevas oportunidades de negocios para el mediano y largo plazo. Esto puede ser una manera de combinar los esfuerzos actuales para mitigar la pobreza con opciones a más largo plazo para sostener estos esfuerzos. Ninguno esfuerzo deberá ser descartado; la pobreza debe ser mitigada ahora, y eliminarse permanentemente.

Los escenarios presentados en este estudio articulan varias acciones clave y problemas que son lo suficientemente importantes en potencia para ameritar mayor consideración como parte de un movimiento ELP. Estos incluyen lo siguiente: (1) detener la deforestación, incluyendo disponer de tierras para producir más alimentos y biomasa al intensificar los cultivos y ganado; (2) el uso de generación eléctrica solar y eólica que esté asociada a la exploración de mejoras en redes y respaldo estacional; (3) la electrificación del transporte y la industria; (4) el potencial de incrementar el transporte público como medio para limitar las emisiones del transporte y mejorar los estilos de vida urbanos; y (5) el papel potencial crítico de la bioenergía en el transporte, la generación de electricidad, las emisiones negativas, y posibles exportaciones con sus respectivas alcances para la agricultura y las políticas y dinámicas de la energía, con advertencia de cautela debido a la incertidumbre inherente (6) emplear CCUS (Tecnología de Captura, Uso y Almacenamiento de Bióxido de Carbono) como opción para permitir el uso continuo de gas natural en la generación de electricidad y para potencialmente respaldar la bioenergía con CCS (Captura de Carbono y Almacenamiento).

REFERENCIAS

- IDEAM, PNUD, MADS, and DNP, Tercera comunicación nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2017.
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, "Boletín estadístico de minas y energía 2012 – 2016," Bogotá, Colombia, Tech. Rep., 2016. [Online]. Available: <http://www.siel.gov.co/>
- XM, "Informe de Operación del SIN y administración del mercado. Oferta y generación." Tech. Rep., 2015. [Online]. Available: <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/2-6-Capacidad-efectiva-neta.aspx>
- H. Winkler, R. Delgado, R. Palma-Behnke, A. Pereira, T. V'asquez Baos, A. Moyo, W. Wills, and A. Salazar, "Information for a developmental approach to mitigation: linking sectoral and economy-wide models for Brazil, Chile, Colombia, Peru and South Africa," *Climate and Development*, vol. 9, no. 6, pp. 1–12, 9 2017. [Online]. Available: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17565529.2016.1174660>
- S. Raubenheimer, M. Torres, A. Rudnick, M. du Toit, H. Winkler, J. Sandoval, E. Lebre la Rovere, Cadena, E. Gutierrez, L. Guinand, H. Blanco, P. Calfucoy, C. Heer, K. Ovalle, A. Kleysteuber, A. Guerrero, E. Tyler, C. Dubeux, B. Oliveira, M. Espinosa, R. Delgado, R. Aldana, D. García, M. Cigarán, K. Coetzee, A. Rojas, J. Burton, W. Wills, C. Benavides, M. Bazan, H. Alison, P. Zeballos, N. da Silva, B. Merven, and T. Caetano, *Stories from the South*, Cape Town, 2015. [Online]. Available: <http://mapsprogramme.org/category/outputs/books/>
- H. Winkler, A. Hughes, and M. Haw, "Technology learning for renewable energy: Implications for South Africa's long-term mitigation scenarios," *Energy Policy*, vol. 37, no. 11, pp. 4987–4996, 2009.
- P. Williamson, "Emissions reduction: Scrutinize CO₂ removal methods," *Nature*, vol. 530, no. 7589, pp. 153–155, 2 2016.

COSTA RICA

CÓMO LLEGAR A CERO EMISIONES NETAS: RESUMEN PARA DISEÑADORES DE POLÍTICAS SOBRE LAS LECCIONES EN LOS SECTORES DE ENERGÍA Y TRANSPORTE

Autores: Jairo Quirós-Tortós^{1*}, Guido Godínez-Zamora¹, Luis Víctor-Gallardo¹, Jam Angulo-Paniagua¹, Eunice Ramos², Mark Howells², Will Usher², Felipe De León³

¹ Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

² División de Análisis de Sistemas de Energía, KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia.

³ Dirección de Cambio Climático, Ministerio del Ambiente y Energía, San José, Costa Rica.

* Autor corresponsal: jairohumberto.quiros@ucr.ac.cr

Alcanzar cero emisiones netas es imperativo para limitar a 1.5 °C el aumento de temperatura; es técnicamente factible y aporta beneficios para el desarrollo.

El Acuerdo de París establece un mecanismo para luchar contra el cambio climático al contribuir a la mitigación de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) causadas por actividades antropogénicas [1]. Comenzando en el 2020, y cada 5 años subsecuentes, los países pertenecientes a la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC) deberán actualizar su compromiso progresivo para con la descarbonización mediante sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) para mantener el calentamiento global muy por debajo de los 2°C con respecto a los niveles pre-industriales, al tiempo que intenten limitarlo a 1.5°C.

Si bien las NDC apoyarán esta transformación, se anima a los países a determinar sus Estrategias a Largo Plazo (ELP) para dirigir esta transformación con metas económicas y sociales [2].

Alcanzar cero emisiones netas sí es técnicamente posible. Hay un acuerdo internacional que las cero emisiones netas de dióxido de carbono (CO₂) para el 2050 y una profunda reducción de otros GEI se puede lograr mediante acciones centradas en cuatro pilares principales: (i) produciendo electricidad cero carbono (y otros combustibles líquidos y gaseosos); (ii) llevando a cabo una electrificación masiva y cambiando a combustibles cero emisiones netas; (iii) aumentar la circulación de transporte público y no motorizado; (iv) detener la deforestación y proteger y regenerar los ecosistemas ricos en carbono natural. Ya están disponibles las soluciones técnicas para cada pilar.

Costa Rica ha avanzado. Los distintos paquetes de políticas que se han implementado han permitido producir casi un 100% de su energía eléctrica con fuentes renovables [3] y cubrir casi el 60% del territorio nacional con bosque [4] (comparado con menos de 30% en los años ochenta del siglo pasado). Estos dos hitos representan los primeros dos pilares del proceso de descarbonización del país.

Se requiere aún de esfuerzos en los sectores de energía y transporte. El más reciente inventario de GEI (reportado a la CMNUCC [5]) subraya que el sector energético representaba en el 2015 el 67% de las emisiones brutas del país (10.88 MtCO₂eq), con el transporte representando 51% del total. Esto no solamente produce problemas de salud, sino que el transporte es responsable además de un grave congestionamiento vehicular y accidentes. Por ende, la descarbonización mediante el crecimiento urbano limitado, promoviendo un cambio modal hacia el transporte público y no motorizado y reduciendo la demanda debido a la digitalización de empleos y el teletrabajo, o trabajo remoto, al igual que la adopción de tecnologías bajas en emisiones como son los vehículos de tránsito público, son estrategias clave para alcanzar la meta de mitad de siglo.

También se necesitarán medidas para otros sectores para poder cumplir con la meta de mediados de siglo. Ayudarán a cumplir con la meta de 2050 si se logran mejoras en eficiencia y una reducción de desperdicio en todos los sectores, especialmente tratándose de energía y consumo de alimentos, y si se cambia a procesos industriales menos intensivos en carbono, al igual que materiales de construcción y dietas.

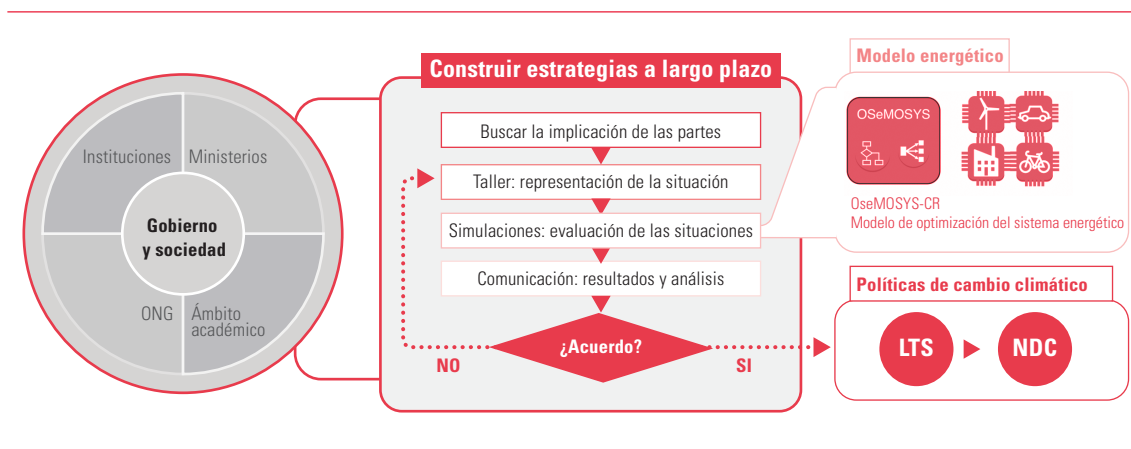
Un proyecto regional apoyó una visión a futuro de la Costa Rica en el medio siglo. Costa Rica tomó un papel de liderazgo en el proyecto de Rutas de Descarbonización Profunda en América Latina y el Caribe (DDP-LAC). Coordinado por el Instituto de Desarrollo Sostenible y Relaciones Internacionales (IDDRI) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el proyecto proporciona el marco para la definición de una ELP para seis países latinoamericanos, enfatizando la necesidad de consultas con los actores y la co-identificación de medidas de mitigación [1]. El equipo

costarricense se integró por miembros de la Universidad de Costa Rica (UCR), el Instituto Real de Tecnología (KTH) y la Dirección de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente y Energía (DCC). Desarrolló y empleó un modelo de optimización de energía (OSeMOSYS-CR) para apoyar el proceso de la estrategia nacional.

Durante el proyecto DDPLAC se apoyó la creación del ELP. El Plan Nacional de Descarbonización (PND) de Costa Rica [6], lanzado a principios de 2019, traza una transición integral a cero emisiones netas para el año 2050. Diseñado por la Dirección de Cambio Climático (DCC) mediante un proceso participatorio de construcción retrospectiva o *backcasting*, ilustrado en la Figura **Figure 18**, se comunicó a la CMNUCC que el PND sería su estrategia de bajos niveles GEI a largo plazo. El PND describe un cambio transformacional estructurado en diez líneas de acción –transporte, energía, edificios, desecho, y los sectores AFOLU– con metas de políticas que se definen dentro del marco analítico del proyecto DDPLAC.

Se desplegó una consulta estructurada con los actores para producir la ELP. El proceso para producir la ELP comenzó con un proceso involucrando a los actores como paso esencial en el diseño, evaluación, e implementación de las rutas de descarbonización. Esto garantizó que las perspectivas de todos los actores relevantes se tomaran en cuenta mientras se analizaban distintas metas de desarrollo, entendiendo los cambios que pudieran ser viables, y cuáles serían las barreras a enfrentar para descarbonizar el país. Esta participación también sirvió para fortalecer la apropiación de la ELP entre los actores, obteniendo así su apoyo durante la implementación. El proceso constó de reuniones para definir las metas comunes e involucrar a los actores. Esto, a su vez, llevó a la estructuración del Plan, seleccionando diez líneas

Figura 18. Integración del Gobierno y la sociedad en el proceso participativo de *backcasting*



de acción, ocho estrategias transversales, y tres etapas para la implementación. Mediante un proceso participatorio, se llevó a cabo un ejercicio para construir un escenario en el que las narrativas, la formulación de consideraciones técnicas, y las restricciones fueron definidas. Entonces, se hizo

10 El modelo OSeMOSYS-CR contiene íntegro el sector energético de Costa Rica, con base en la mejor información disponible. El modelo incluye los costos y capacidades de las múltiples tecnologías, como son plantas de energía, vehículos, autobuses y otras variables, al igual que la venta de combustibles fósiles y electricidad, o la relación entre la distancia promedio viajada y el consumo energético del transporte. Hay un módulo que calcula los beneficios anclados vinculados a usos para combustibles fósiles, calculando los efectos en salud, congestión y accidentes.

una evaluación de escenarios con modelaje de metas dentro del modelo OSeMOSYS-CR (y un modelo precursor) para el sector energético, y modelos lineales simples para otros sectores¹⁰. Finalmente, la DCC proporcionó retroalimentación a los actores a través de la presentación de resultados, incluyendo no solamente los resultados principales, pero también los métodos, técnicas y resultados sectoriales que garantizaran la comunicación transparente de resultados, empleando gráficas y tablas.

Se estableció un abordaje sistemático para producir rutas de descarbonización. Las narrativas y otra información provista por los interesados se modelaron en el

Figura 19. Objetivos clave en la descarbonización del sector energético en Costa Rica

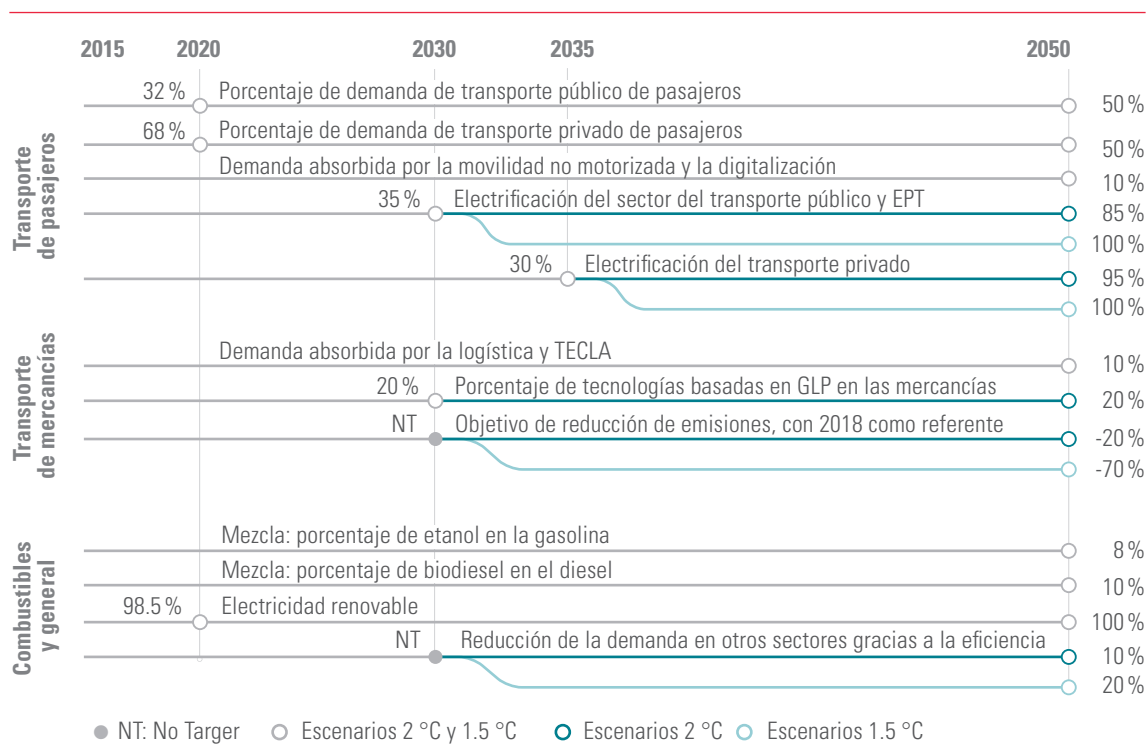


Tabla 1. Las principales estrategias en las rutas de descarbonización en el sector energético de Costa Rica

Planificación y movilidad urbana	Cambiando las tecnologías de combustibles fósiles	Cambiando las fuentes de energía
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Costa Rica implementa un sistema de transporte masivo rápido basado en el Tren Eléctrico de Pasajeros. ✓ Se despliega un moderno esquema de transporte público. ✓ Se implementarán prácticas de planificación urbana, incluyendo la densificación de la ciudad, la construcción de andenes para ciclistas, y la integración de elementos ambientales que promueven el caminar y la sostenibilidad. ✓ Se reducirá el uso de vehículos ligeros y el cambio modal hacia el transporte público. ✓ El teletrabajo o trabajo remoto y la digitalización de los negocios reduce el consumo energético, mejorando la eficiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El costo y adquisición de vehículos eléctricos, no solo para uso privado sino también en autobuses y carga, ocurre como resultado de mejores condiciones de mercado e incentivos disponibles. ✓ El Tren Eléctrico Limonense de Carga (TELCA) opera mediante un centro de transferencia de carga para la principal ruta de carga en el país, reduciendo las emisiones de carbono de la carga pesada. ✓ La flexibilidad, inteligencia y resiliencia del sistema eléctrico se consolida bajo el concepto de redes inteligentes. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los biocombustibles se producen localmente y ayudan a reemplazar las importaciones, promoviendo así el comercio local. ✓ A partir de 2030, se despliega el hidrógeno verde (de la electrólisis), particularmente para vehículos de pesados o de viajes largos (carga y autobuses), con la finalidad de reducir las emisiones del sector.

modelo OSeMOSYS-CR. Se desarrolló un escenario de mediados de siglo: un escenario de 1.5°C que es compatible con una meta de cero emisiones netas para el año 2050. Se compararon entonces los costos y beneficios con un escenario ordinario de *business-as-usual* (BAU) que proyecta la conducta de las emisiones si no se toman en cuenta las intervenciones de políticas (ej. siguiendo las tendencias históricas). La **Tabla 1** describe las estrategias principales en el escenario 1.5°C, y los objetivos se presentan en la **Figura 19**.

Es posible llegar a cero emisiones netas en los sectores de transporte y energía de Costa Rica. El modelaje de los objetivos (**Figura 20**) nos lleva a entender que las emisiones en los sectores de transporte y energía se podrán reducir para mediados de siglo en 8.4 MtCO₂eq

(**Figura 20**). La reducción ocurre principalmente a través del reemplazo de los combustibles fósiles usados en el sector transporte con renovables en la mezcla energética que se emplearán para los vehículos eléctricos y los autobuses eléctricos, y facilitará la electrificación de otros sectores.

Un escenario de descarbonización profunda demandará cambios modales y reducciones en las distancias viajadas. La ruta de descarbonización para Costa Rica exige la transición hacia el transporte público, que representará entre 45% a 70% de los kilómetros motorizados viajados para el 2050, comparado con cifras bastante más bajas (bajando a 30%) en aquellos escenarios sin políticas climáticas. El Plan contempla que para el 2050, el transporte público deberá atender la mayor parte de la demanda en áreas metropolitanas, y las modalidades no

Figura 20. Emisiones anuales en el sector energético

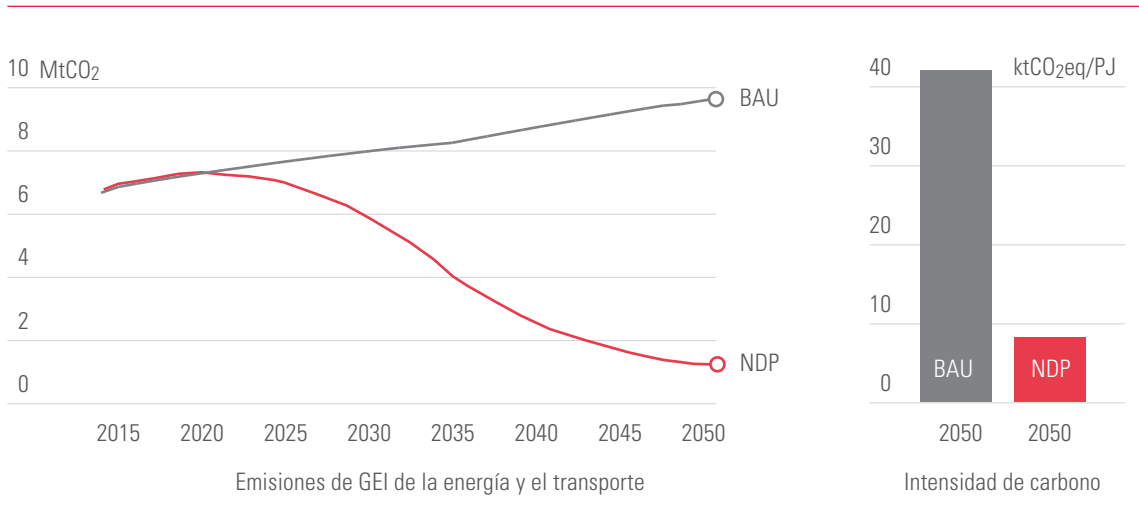
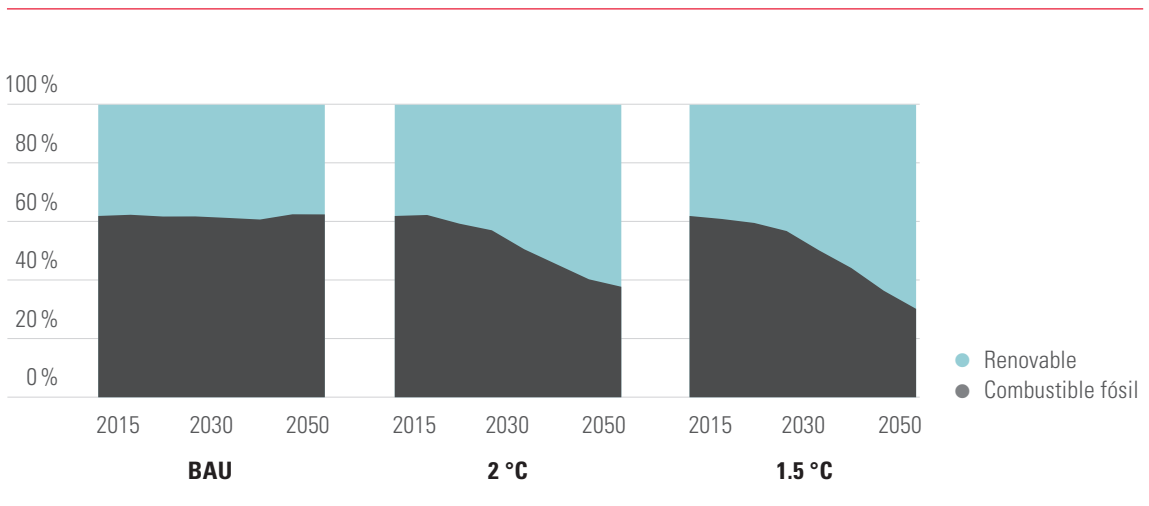


Figura 21. Distribución de energía



motorizadas (caminar y ciclismo, más la demanda reducida debido a la digitalización del trabajo y el teletrabajo o trabajo remoto) deberán aumentar su aportación a 10% de la movilidad para el año 2050.

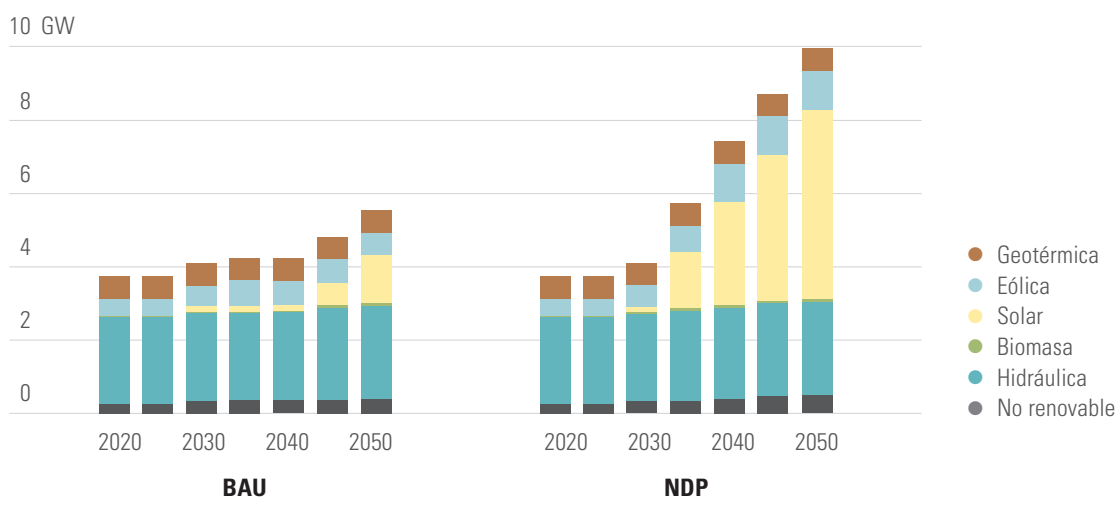
Las nuevas plantas renovables de energía eléctrica y la mejora en eficiencia para producir electricidad facilitarán la electrificación. El Plan de Expansión de la Generación, definido por el Instituto Costarricense de Electricidad, o ICE, corre hasta 2034. Se construirán algunas plantas para cumplir con la creciente demanda, actualmente con un crecimiento de 2% aproximadamente. La electrificación del sector transporte, no obstante, podrá requerir de plantas adicionales. Se podrán necesitar, además, procesos más eficientes para producir electricidad en apoyo a esta transición. Comparado con el escenario tendencial al 2050, el estudio encontró que la descarbonización profunda requerirá una capacidad instalada adicional de aproximadamente 4.4 GW (Figura 22). Sin embargo, se necesitará a partir de 2035 ya que será cuando el despliegue masivo de la electromovilidad empiece a funcionar. Esto implica que las inversiones podrán no ser tan elevadas ya que se espera que el costo de la generación de tecnologías bajas en carbono será mucho menor en el futuro^{2,7}.

El proceso de descarbonización requiere de inversiones que se compensarán con la reducción en costos operativos. El desplegar tecnologías de bajas o cero emisiones puede suponer costos de inversión más altos ahora, pero su operación es más económica en casi todos los casos. Además, los costos de las tecnologías cero carbono

están bajando rápidamente, mientras que el *business as usual*, o BAU, se torna más costoso y está más expuesto a los riesgos de la transición, como son los activos abandonados. El costo de las baterías para los vehículos eléctricos también ha experimentado una reducción de seis veces en precio en tan solo ocho años, y se espera que la tendencia continúe. Comparado con el escenario BAU, el estudio encuentra que la descarbonización requiere de inversión adicional en US\$ 26.7 miles de millones para el 2050, en contraste con los ahorros operativos de US\$ 29.7 miles de millones para el mismo periodo (Figura 23), resultando así en un beneficio financiero neto de US\$ 2.9 miles de millones (aproximadamente 5% del PIB actual de Costa Rica).

Los beneficios secundarios podrían, incluso, superar los costos de inversión en descarbonización. Descarbonizar el sector transporte trae consigo mejorar la movilidad, reducir la contaminación del aire localmente, y mejorar la calidad de vida. El tiempo que se pierde en congestión de tránsito y los costos de accidentes también representan un problema costoso. En Costa Rica se calcula que el tiempo perdido en el tráfico, los accidentes y los impactos en la salud de la contaminación local del aire le cuestan al país 3.8% del PIB cada año [8]. Cambiar a sistemas eficientes de transporte público y a la electromovilidad podría ser una de las grandes oportunidades para apoyar la transición hacia cero emisiones netas al mismo tiempo que conlleva beneficios importantes para la economía y la sociedad. Un sistema urbano de transporte que es efectivo, basado en autobuses eléctricos, puede reducir la congestión, el número de accidentes y la contaminación local al mismo tiempo que se aprovecha la electricidad

Figura 22. Capacidad instalada según tecnología y escenario



renovable y el ahorro de dinero. Los resultados que ofrece el equipo¹¹ DDPLAC subrayan que tomar en cuenta estos aspectos podrá aumentar los beneficios económicos de la descarbonización del sector transporte hasta llegar a unos US\$ 20.6 miles de millones [Figura 23(c)], lo cual representa casi 35% del PIB actual.

Figura 23. Comparación de costes en función del escenario

Se han descontado valores del 5 % hasta 2050

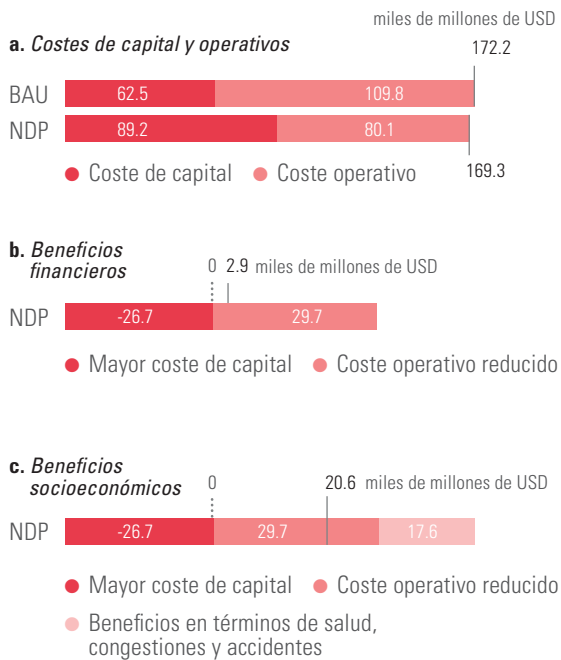
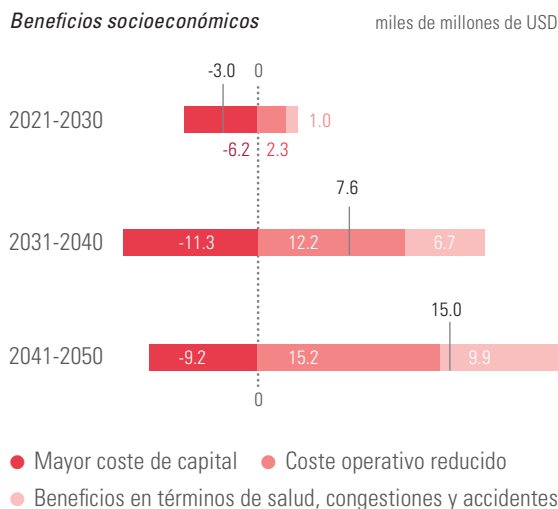


Figura 24. Cronograma de beneficios socioeconómicos

Se han descontado valores del 5 % hasta 2050



Las inversiones hechas hoy abren la puerta a beneficios en el mediano y largo plazo.

La línea de tiempo de estos beneficios socioeconómicos (Figura 24) indica que las inversiones superan los ahorros en el corto plazo (2020-2030). Las inversiones se relacionan principalmente a la implementación inicial de vehículos eléctricos en la flotilla privada, la electrificación del transporte ligero de carga, la primera fase de despliegue del tren de pasajeros, y las nuevas plantas eléctricas de fuente renovable. Aún se necesitarán inversiones para el mediano y largo plazo, pero los ahorros operativos (altamente vinculados al menor consumo de combustibles fósiles) siempre compensarán los costos de capital, por lo tanto aportarán beneficios financieros netos. En estos dos periodos, las inversiones en camiones de carga bajos en carbono predominarán. De hecho, incluye la segunda fase del tren eléctrico de pasajeros y la transición hacia un transporte público más eficiente, a la par que se sigue trabajando en la electrificación de autobuses y vehículos privados. En el sector energético, la infraestructura de la energía renovable sigue apoyando la transición tecnológica. Si sumamos los beneficios en términos de salud, congestión, y accidentes, los beneficios socioeconómicos en el mediano y largo plazo representan casi 13 y 26% del PIB actual de Costa Rica, subrayando así que los beneficios van en aumento conforme se avanza a la meta de medio siglo.

Es probable que el proceso de descarbonización creará ganadores y perdedores.

La transición hacia un sector energético más limpio podrá impactar a los consumidores, trabajadores, comunidades y negocios debido a la eliminación paulatina o recorte de actividades económicas que no son afines con las cero emisiones netas, como por ejemplo la comercialización de combustibles fósiles. El impacto a corto plazo de retirar subsidios a la energía o introducir impuestos ambientales que aumenten el costo de los alimentos y servicios básicos también son temas importantes. Será de crucial importancia anticipar, minimizar, y compensar con políticas específicas y medidas complementarias. Asimismo, hay evidencia internacional que sugiere que la aceptación social de reformas requiere de consulta con los actores y campañas de comunicación antes de empezar a implementar reformas.

Los ingresos fiscales también se verán afectados.

La sostenibilidad fiscal es imperativa para la factibilidad política de las reformas que se requieren para los abordajes transformacionales. La recaudación del gobierno central

¹¹ Respaldo por otro proyecto que evalúa el costo y los beneficios de descarbonizar el sector transporte.

proveniente del sector transporte representó en el 2019 el 20% del ingreso tributario total del país [9]. La adopción de vehículos eléctricos reducirá los ingresos que producen los impuestos sobre la gasolina y el diesel. Con las ELP de Costa Rica ya definidas, el gobierno ahora podrá adelantarse a estos cambios, mismos que son estudiados en el país con el apoyo del equipo DDPLAC para poder identificar medidas fiscales alternativas a ser planificadas e implementadas. Para gestionar los impactos potenciales, el Plan se podrá usar para ajustar paulatinamente la tasa de impuestos para la gasolina, electricidad y tenencia y operación vehicular con base en las metas del Plan Nacional para la Descarbonización.

Las ELP son punta de lanza para el desarrollo de Costa Rica. Costa Rica se comprometió a descarbonizar integralmente su economía para el año 2050. Este cambio transformacional tendrá que superar múltiples desafíos.

Para estudiarlos, se tendrá que echar mano de expertos locales e internacionales para producir estudios técnicos que apoyen la transición, trayendo evidencia robusta de la ruta más efectiva y asequible para llegar a una Costa Rica descarbonizada para el año 2050. El PND también coloca la descarbonización al centro de múltiples gobiernos e instituciones autónomas que tendrán que adaptar sus planes a la nueva normalidad. Es crucial contar con coordinación interinstitucional para articular esfuerzos de manera congruente. Afortunadamente, hoy tenemos una gran oportunidad de ejecutar la llamada recuperación verde pos-COVID, que traerá consigo múltiples beneficios para la población.

REFERENCIAS

1. Waisman, H. *et al.* A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies. *Nat. Clim. Chang.* **9**, 261–268 (2019).
2. IDB & DDPLAC. *Getting to Net-Zero Emissions: Lessons from Latin America and the Caribbean.* (2019).
3. ICE. *Plan de expansión de la generación 2018-2030.* (2019).
4. Ministerio de Ambiente y Energía. *Estrategia Nacional REDD+ Costa Rica.*
5. Ministerio de Ambiente y Energía - Gobierno de Costa Rica. *II Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* (2019).
6. MINAE & DCC. *National Decarbonization Plan of Costa Rica 2018 - 2050.* (2019).
7. García de Fonseca, L., Parikh, M. & Manghani, R. *Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina.* <https://publications.iadb.org/es/evolucion-futura-de-costos-de-las-energias-renovables-y-almacenamiento-en-america-latina> (2019) doi:10.18235/0002101.
8. Estado de la Nación. *Programa estado de la nación en desarrollo humano sostenible.* (2017).
9. Contraloría General de la República del Gobierno de Costa Rica. *Ingresos Corrientes del Presupuesto Ordinario del Gobierno de la República para el 2017.* (2017).

ECUADOR

CERO EMISIONES NETAS EN TODA LA ECONOMÍA

Autores: Rafael Soria, DSc., Daniel Villamar, MSc, Pablo Carvajal, PhD (EPN). Pedro Rochedo, DSc, Alexandre Szklo, DSc, Roberto Schaeffer, PhD, Mariana Imperio, DSc (COPPE/UFRJ).

Financed by IDB.

Con la participación de: **EPN**, Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, 17-01-2759, Quito, Ecuador and **COPPE/UFRJ**, Energy Planning Program, Graduate School of Engineering, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Bloco C, Sala 211, Cidade Universitaria, Ilha do Fundão, 21941-972, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Mensajes clave

- Las NDCs de Ecuador no son suficientes para poner al país en la ruta hacia un mundo con incremento de temperatura muy por debajo de los 2°C. A Ecuador todavía le falta una estrategia integrada de largo plazo (ELP) en línea con el Acuerdo de París.
- La cooperación internacional podría ayudar a crear las condiciones para transitar rumbo a la descarbonización profunda por medio del financiamiento, capacitación, transferencia de tecnología y desarrollo institucional de las capacidades.
- Diversificar el sistema de generación eléctrica con energía renovable no hídrica es la clave para reducir la dependencia en la generación de energía hidroeléctrica de gran escala (hoy, 5 GW), lo cual podría empeorar los escenarios de cambio climático en los que se tendría menor precipitación. Hasta el 2050, el sistema eléctrico requeriría un total de 4.4 GW de energía solar fotovoltaica, 3 GW de plantas de bioenergía térmica con captura y almacenamiento de carbono (BECCS), 900 MW de energía eólica en continente y 500 MW de plantas geotérmicas. Todo lo anterior suma 9 GW, 17 veces más que la capacidad instalada de fuentes no hídricas en 2020. Hasta el 2050 se requerirían adicionalmente 3 GW de plantas hidroeléctricas. La capacidad instalada total en 2050 sería 18 GW.
- Se necesita desarrollar una industria bioenergética para alcanzar una descarbonización profunda. Se pueden manejar sosteniblemente los cultivos sembrados para abastecer a las biorrefinerías y plantas de energía térmica con biomasa leñosa. Para el 2050 se requerirían alrededor de 500 mil hectáreas de bosques plantados y gestionados sosteniblemente. En 2015, Ecuador contaba con 12.8 millones de hectáreas de bosques (51% del territorio continental).
- Una reforestación ambiciosa podría evitar la dependencia a la arriesgada y costosa tecnología de captura y almacenamiento de carbono (CAC). La reforestación y conservación de 300 mil hectáreas adicionales a las de 2015, con relación al año base, arrojaría suficientes emisiones negativas para evitar el despliegue de otros 900 MW de BECCS.
- La electrificación del transporte de pasajeros es crucial para reducir las emisiones. Para el 2050, 70% de los autobuses y 33% de los automóviles privados tendrían que ser eléctricos. Alrededor del 10% de la demanda de transporte de pasajeros puede atenderse sin vehículos motorizados (caminar, ciclismo, patines y patinetas) en las ciudades urbanas. Ello requiere acciones para mejorar la planificación urbana y los sistemas de transporte municipales integrados.
- Reducir las emisiones en el transporte de carga representa una tarea desafiante, puesto que exige electrificación y el uso de biocombustibles avanzados. Para el 2050, 40% de la flota de camiones ligeros y medianos podría ser eléctrica, en tanto que solo el 10% de los camiones de trabajo pesado serían eléctricos. Aproximadamente 25% del consumo final de energía del transporte consistiría en diésel de biorrefinería, y alrededor del 4%, en biodiésel tradicional.
- La eficiencia energética podría desempeñar un papel importante en la descarbonización del sistema energético. En el sector industrial será posible reducir la intensidad de la energía en 14% hasta el 2050, respecto al nivel del 2015, el año base, con la implementación de tecnología de punta (calderas, sistemas de transmisión de potencia mecánica, etc.) y un aumento en la electrificación. El índice de electrificación en el sector industrial podría incrementarse en 30%; existe un gran potencial para ello en las compañías de alimentos y bebidas. En el sector residencial el índice de electrificación podría aumentar del 25% actual, a 32%, especialmente en las aplicaciones de cocción y calentamiento de agua.
- La investigación y desarrollo (I+D) y la construcción de plantas piloto deben constituir políticas transversales en todo el proceso de descarbonización.

Circunstancias nacionales y hallazgos

Este resumen de políticas presenta y comenta los resultados del proyecto Rutas de Descarbonización Profunda (DDP) en América Latina y el Caribe (ALC) en la República del Ecuador. Este proyecto de dos años de duración desarrolló una serie de escenarios energéticos y de usos de suelo de largo plazo que ilustran la ruta que Ecuador podría tomar en su búsqueda de un sistema energético y de suelos bajos en carbono para el 2050. El proyecto fue desarrollado por expertos en modelos de energía, locales e internacionales, y forma parte de un proyecto más amplio que comprende seis países en la región ALC: México, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Perú y Argentina (IADB y DDPP-LAC, 2019).

El cambio climático (CC) constituye un problema mundial que requiere acciones de todos los países a fin de dar lugar a un mundo con un incremento de temperatura "muy por debajo" de los 2°C (más cercano a los 1.5°C), encima de los niveles preindustriales para el final de este siglo (IPCC, 2018). En 2016, Ecuador emitió 98.6 MtCO₂eq (CAIT Climate Data Explorer, 2020), y se compromete a reducir voluntariamente sus niveles de emisión y al mismo tiempo superar las barreras al desarrollo socioeconómico. En marzo 2019, Ecuador presentó ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), su primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), tanto condicional como incondicional al apoyo internacional, con objetivos hasta el 2025. Posteriormente, en agosto del 2019, el gobierno ecuatoriano declaró que su NDC era una política de Estado de cumplimiento obligatorio (Gobierno del Ecuador, 2019).

Este resumen de políticas encuentra que la actual NDC de Ecuador no está alineada con la ruta mundial de largo plazo

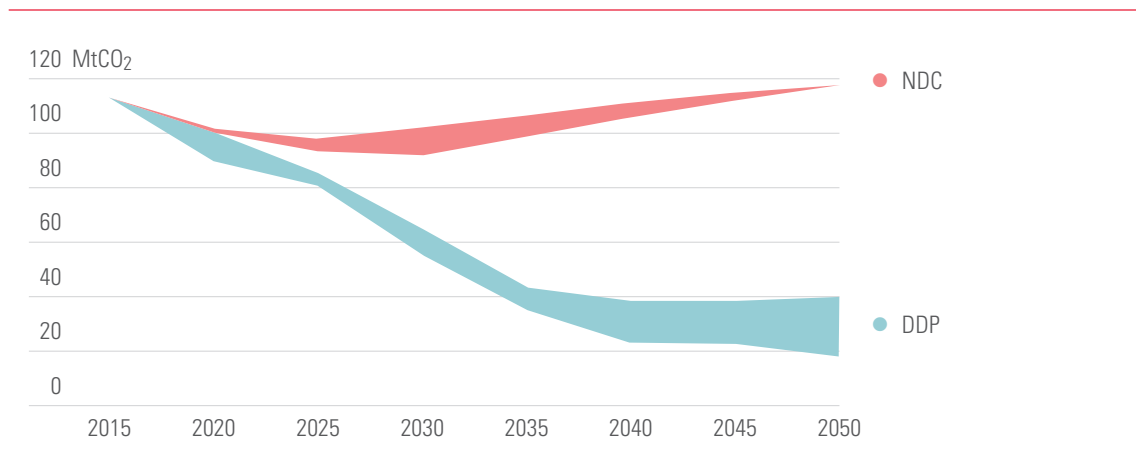
hacia "muy por debajo" de los 2°C para el final de siglo, y sugiere las medidas que Ecuador podría tomar hasta el 2050 para orientarse en esa dirección. Se presenta una explicación de la metodología usada en el estudio en el Anexo 1 y en Villamar et al., (2020).

Las NDC de Ecuador no se alinean con la trayectoria de largo plazo de descarbonización profunda; se necesita una estrategia integrada de largo plazo (ELP) en línea con el Acuerdo de París.

Las emisiones de gases de efecto tipo invernadero (GEI) de los sectores energía y suelos en un escenario alineado con la NDC ecuatoriana actual muestran una tendencia crecientemente, lejana de los requerimientos de descarbonización correspondientes a la meta mundial de 1.5°C para el 2100. Las actuales NDCs de Ecuador, tanto condicionales como incondicionales al apoyo internacional, no se encaminan a una trayectoria de descarbonización de largo plazo. Las NDC actuales guiarían al país hacia una reducción leve hasta el 2025, sin embargo, sin otras estrategias de largo plazo se alcanzaría un nivel de emisiones de aproximadamente 120 MtCO₂eq/año en 2050. A fin de lograr el Acuerdo de París, los escenarios de la ruta de descarbonización profunda (DDP) muestran que las emisiones de GEI tendrían que ubicarse en un rango entre 20 a 40 MtCO₂eq/año¹²

¹² En la publicación académica de Villamar et al., (2020) se presentan todos los detalles y escenarios modelados. Algunos escenarios DDP se modelaron usando presupuestos de carbono (emisiones acumulativas hasta el 2050) para Ecuador entre 1.46 y 1.25 GtCO₂eq, que son compatibles con un nivel mundial de 1.5°C para el 2050. Estos presupuestos de carbono se calcularon con el modelo mundial COFFEE (Rochedo et al., 2018).

Figura 25. Emisiones anuales de GEI hasta 2050 para los escenarios NDC y DDP



Para 2050, la NDC coloca a Ecuador en la vía hacia las 120 MtCO₂eq mientras que los DDP deben situarse entre los 20 y los 40 MtCO₂eq

en 2050 (Figura 25). Para poder alcanzar este escenario más ambicioso de mitigación de GEI, Ecuador necesita una estrategia de largo plazo (ELP) que guíe la transición del país hacia objetivos más ambiciosos en los sectores de la agricultura, silvicultura y otros usos de suelo (AFOLU), como se explica adelante.

La cooperación internacional e inversión privada podrían ayudar a crear las condiciones que permitan transitar hacia la descarbonización profunda.

Hasta el 2050 habría mucha menor inversión en el sector de petróleo y gas natural, y mucha mayor inversión en los biocombustibles (590 millones de dólares al año) así como en el transporte e infraestructura de inyección de CO₂ para hacer posible la CAC (65 millones de dólares al año) (ver Figura 26, izquierda). En el sector energético disminuiría la inversión en plantas de electricidad operadas con combustibles fósiles, y a la vez se necesitaría mayor inversión en hidroeléctricas (1,500 millones de dólares al año), renovables no hidroeléctricas (715 millones de dólares al año) así como en transmisión y distribución eléctrica (T&D) (140 millones de dólares al año) (ver Figura 26, izquierda).

Diversificar la matriz energética con energía no hídrica renovable es la clave para reducir la dependencia a la energía hidroeléctrica de gran escala.

Ecuador debería diversificar su sistema de generación eléctrica con energías no hídricas renovables para reducir la dependencia en la generación de energía hidroeléctrica de gran escala, lo cual podría conducir a graves complicaciones en los escenarios de cambio climático con una menor precipitación (P. Carvajal et al., 2018; P. E. Carvajal,

2019). Hasta el 2050, nuestro modelado sugiere que el sector eléctrico necesita desplegar una capacidad instalada de cuando menos 4.4 GW de energía solar fotovoltaica (en plantas centralizadas y generación distribuida), 3 GW de plantas de bioenergía térmica con captura y almacenamiento de carbono (BECCS), 900 MW de energía eólica en continente y 500 MW de plantas geotérmicas (ver Figura 27). Esto agrega 9 GW; 17 veces más que la capacidad no hídrica instalada en 2020. Las plantas de energía hidroeléctrica se mantendrían como la fuente de generación más importante con un total de 8 GW de capacidad instalada en 2050, que incluye 3 GW adicionales con relación a lo existente en 2020. La capacidad instalada para la generación eléctrica en el 2050 sería de 18 GW. Aun cuando sigue existiendo un potencial tecnoambiental remanente para la hidroelectricidad en la cuenca del Amazonas (13 GW), su despliegue adicional con base en plantas "de pasada" derivaría en problemas operativos en el sector eléctrico, particularmente en tiempos de baja hidrología en las cuencas del Amazonas y el Pacífico al final de cada año. La capacidad para almacenar biomasa permitiría un suministro firme de electricidad usando plantas térmicas que usen bioenergía durante este período. Por ende, las plantas de bioenergía térmica representan una opción apropiada para Ecuador, un país con gran potencial bioenergético. El gas natural (local e importado) podría representar una opción para alimentar alrededor de 600 MW de plantas térmicas de ciclo combinado brindando al sistema eléctrico energía firme para apoyar la operación de las tecnologías que aprovechan las fuentes intermitentes de energía renovable. Se podría aplicar la CAC parcialmente a las plantas remanentes de energía térmica con com-

Figura 26. Inversión anual adicional requerida para el escenario DDP, en comparación con el caso de referencia, 2020-2050

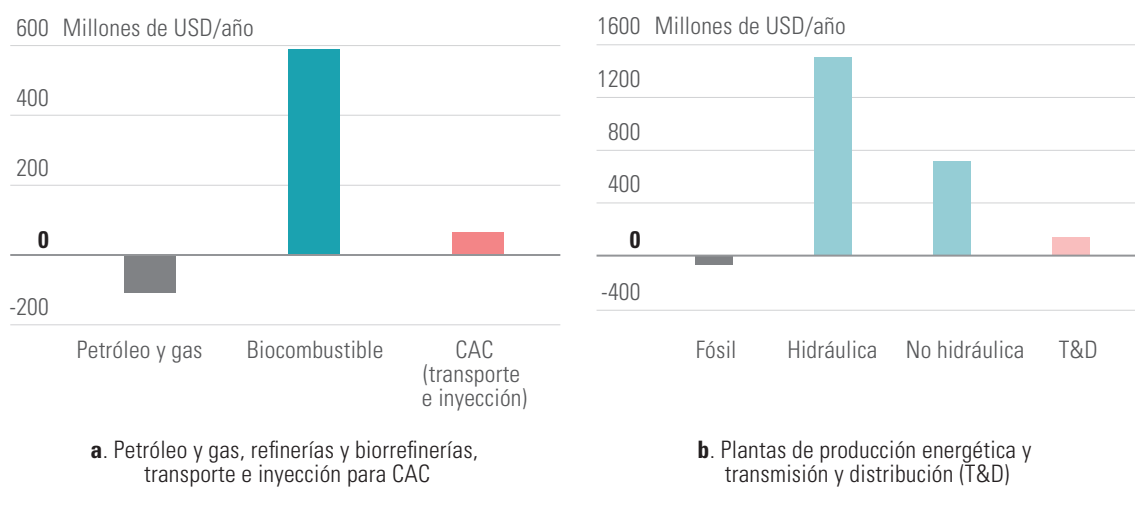
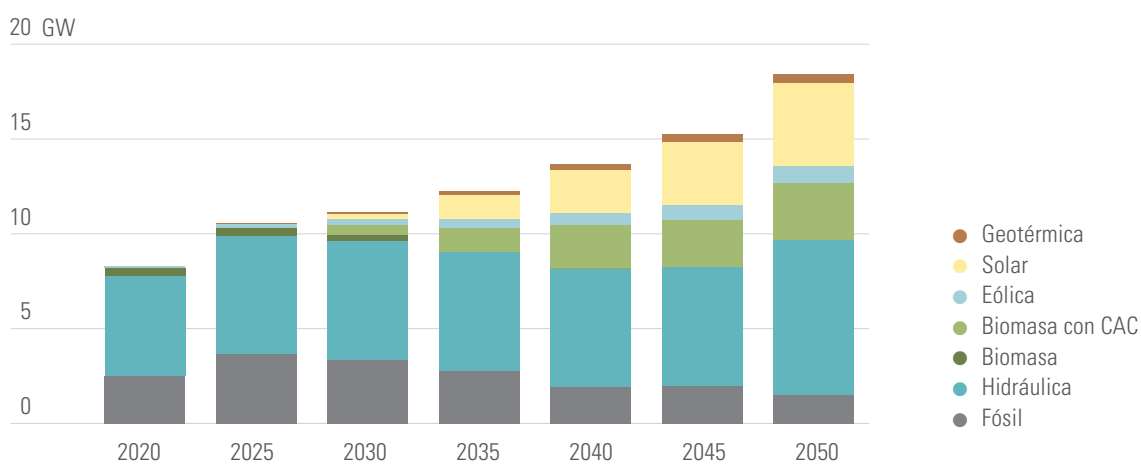


Figura 27. Evolución de la capacidad instalada de generación eléctrica en el escenario DDP hasta 2050

bustibles fósiles. El despliegue de las tecnologías arriba mencionadas llevaría a un 94% de generación eléctrica renovable en 2050.

La expansión del sector eléctrico hasta el 2025 responde al Plan Maestro de Electrificación de Ecuador (PME 2027), que ya propone 1.1 GW de plantas térmicas de ciclo combinado con gas natural licuado (GNL) importado, así como opciones renovables no hídricas (600 MW) incluyendo la energía solar fotovoltaica, energía eólica en continente y geotérmica (MERNNR, 2020). El PME también muestra una expansión de 2.4 GW entre 2020-2027.

Este desafío queda en manos no solamente de la Corporación Eléctrica de Ecuador (CELEC EP) sino también en las del sector privado. En el corto y mediano plazo, el gobierno debe crear el marco adecuado que permita la participación de la inversión privada en el sector eléctrico.

El desarrollo de la industria bioenergética es indispensable para la descarbonización profunda.

La madera de la silvicultura, proveniente principalmente de los programas de reforestación de suelos degradados, podría constituir un combustible importante para las plantas termoeléctricas (con o sin CAC). La biomasa no solamente sería importante para el sector eléctrico, sino también para descarbonizar toda la matriz de energía primaria suministrada y el sistema económico, en general. La biomasa también podría usarse como materia prima para la producción en las biorrefinerías de combustibles líquidos avanzados y químicos sofisticados. Ello requeriría incrementar la capacidad instalada en las biorrefinerías hasta aproximadamente 45 mil barriles equivalentes de petróleo al día para el 2050. Alrededor de 25% del consumo de energía final del transporte de carga podría reemplazarse con biocombustibles avanzados en las flotas

de camiones medios y pesados. Además, para enfrentar el inminente agotamiento de los recursos petroleros de Ecuador (lo que a las tasas actuales de producción podría ocurrir antes del 2040), los cultivos bioenergéticos deben ser desarrollados desde el 2030 en adelante. Estos representan una actividad alternativa clave para descarbonizar la matriz energética y generar ingresos y empleo en las áreas rurales. El agotamiento del petróleo ecuatoriano acarrea no solamente desafíos para el sector energético, sino también consecuencias en cuanto al déficit comercial. Si se desarrolla una industria bioenergética exitosa se podrían surtir alrededor de 80 millones de barriles equivalentes de petróleo en productos energéticos a partir de madera (biorrefinerías y plantas de energía térmica) en 2050, lo cual supone la gestión sostenible de unas 500 mil hectáreas de silvicultura. Esta opción puede ayudar a mitigar el riesgo en el sector energético y colocar a Ecuador en vías de desarrollo sostenible y crecimiento socioeconómico. En 2015, el área boscosa de Ecuador cubría 12.8 millones de hectáreas (51% del territorio continental), de las cuales 27% eran bosques protegidos.

Estos resultados podrían ayudar a fortalecer y dirigir la Estrategia Nacional de Bioenergía (PNUD/MAE, 2018) y la propuesta para un Programa Nacional de Biodigestores (IIGE/MERNNR, 2020) que están desarrollando, respectivamente, el Ministerio del Ambiente (MAE) y el Ministerio de Energía (MERNNR). Estos instrumentos de política deben promover el desarrollo de plantas termoeléctricas que usen biocombustibles (sólidos, líquidos y gaseosos), y las biorrefinerías. Los residuos agroindustriales, en particular de la palma de aceite, el arroz, la caña de azúcar y el plátano (banano), también presentan un significativo potencial energético que podría emplearse en el corto plazo para la generación distribuida de electricidad.

Un programa ambicioso de reforestación puede evitar la dependencia en tecnologías inmaduras, arriesgadas y costosas para la captura y almacenamiento de carbono (CAC) en el sector energético.

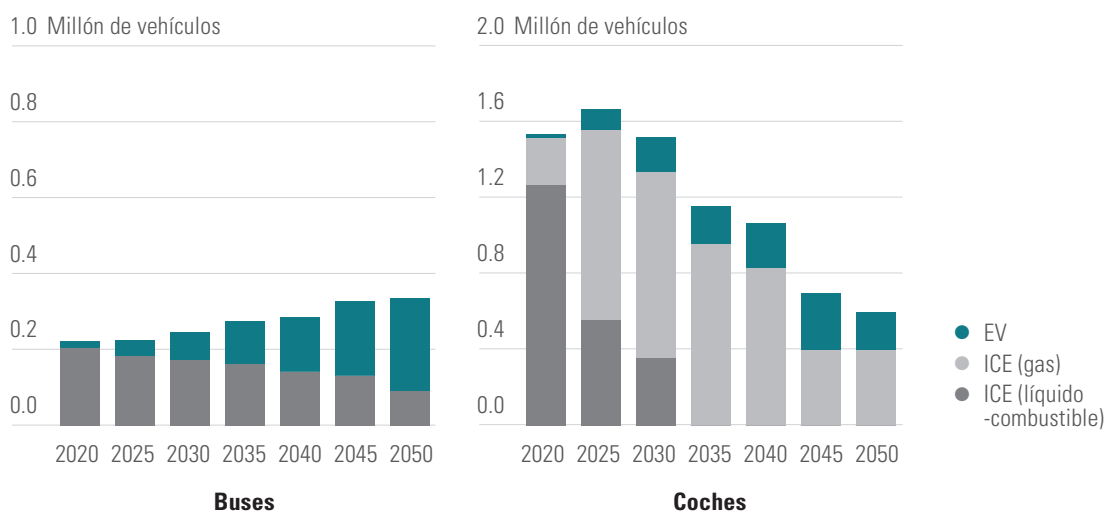
Existe una disputa entre la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS) en el sector energético y la reforestación/ conservación de bosques en el sector AFOLU. Mientras que la BECCS es una opción para tener emisiones negativas en la generación de electricidad, en el mediano plazo, la BECCS sigue siendo una tecnología costosa y arriesgada debido a su inmadurez comercial. Por el contrario, la reforestación parece una opción apropiada de corto plazo para un país como Ecuador, rico en fuentes de agua dulce y con una gran biodiversidad por su clima y ubicación. La reforestación (con bosques y pastizales) y la conservación de 300 mil hectáreas adicionales a las existentes en el año base 2015 aportaría suficientes emisiones negativas para evitar el despliegue de aproximadamente 900 MW de BECCS. De hecho, la reforestación aporta algunos beneficios complementarios positivos, por ejemplo, los relacionados con mantener los servicios ecosistémicos y la generación adicional de turismo.

La meta de reforestación considerada es mayor que la meta establecida por el Programa Nacional de Restauración Forestal (40,000 ha) y la del programa de silvicultura para uso comercial del Ministerio de Agricultura (120,000 ha). Por otro lado, la meta propuesta es significativamente menos ambiciosa que el programa ‘Socio-Bosque’ (conservación de 3 600,000 ha) (MAE/FAO, 2019), que debería ser apoyado

Es esencial electrificar el transporte de pasajeros para reducir las emisiones en el sector del transporte.

La descarbonización profunda para hasta 2050 demanda un incremento en la utilización del transporte público, así como un aumento en su índice de electrificación. A escala nacional, en 2040 los autobuses eléctricos deberán representar la mitad de la flota de autobuses, y para el 2050, más del 70% (ver **Figura 28** izquierda). Alrededor de 20.000 autobuses eléctricos estarían en operación en el 2050. Este cambio importante responde a la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, emitida en 2019, la cual ordena que: “A partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial, en el Ecuador continental, deberán ser únicamente de medio motriz eléctrico” (*Asamblea Nacional de la República de Ecuador, 2019*). Gracias al incremento en el uso del transporte público a partir del 2030, la demanda de la movilidad privada deberá disminuir. Se requieren metas ambiciosas a partir del 2030. Para 2035 los combustibles fósiles líquidos ya no deben formar parte de la matriz energética del transporte privado de pasajeros, salvo en los casos que lo justifiquen. Más bien, la flota de automóviles privados usaría electricidad y gas natural (local e importado) (ver **Figura 28**, derecha). Si bien, hacia el 2050 se espera una reducción significativa en los precios de los vehículos eléctricos en los mercados internacionales, nuestro modelado encuentra que seguirán siendo relativamente costosos en comparación con los motores de combustión interna (MCI) y esto derivará, para 2050, en una flota de automóviles compuesta en su tercera parte por autos eléctricos. Los trenes eléctricos

Figura 28. Demanda de energía en el transporte de pasajeros, con transporte de uso público y transporte privado



(el metro en Quito, tranvía en Cuenca) y las motocicletas eléctricas tendrán un papel importante en el escenario DDP para aumentar la utilización de los sistemas masivos de transporte público.

La reducción de las emisiones de GEI en el sector del transporte no depende únicamente de la electrificación: tiene que haber una conversión, desde movilidad individual privada al uso de sistemas públicos y una reducción en la movilidad motorizada. En 2015, los autobuses satisfacían el 56% de la demanda por transporte motorizado de pasajeros; los automóviles, el 33%; las motocicletas, el 3% y los aviones, el 8%. En un escenario DDP, en el 2050 los autobuses suministrarían el 63%; los automóviles, el 14%; las motocicletas, el 9%; los aviones, el 10% y los trenes, el 3%. Las políticas deben promover una movilidad no motorizada (caminar, ciclismo, patines y patinetas) en las ciudades. Alrededor del 10% de la demanda total de transporte de pasajeros podría suministrarse en forma no motorizada (Figura 29). Debe revisarse la planificación urbana y las concepciones equivocadas de la sociedad acerca del transporte a fin de mejorar la movilidad urbana. La electrificación del sistema de transporte público deberá asociarse a mejoras en la seguridad, tiempo de traslado, comodidad, emisiones de material particulado, etc. La flota privada podría electrificarse, pero a menos que se generen políticas complementarias formuladas con una perspectiva holística, seguirá habiendo un problema en la movilidad.

Debe actualizarse el Plan Estratégico de Movilidad 2013 -2037 desarrollado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO, 2016), en el pasado mayormente enfocado en la construcción de infraestructura (caminos, puertos y aeropuertos), para que establezca metas en los ejes arriba

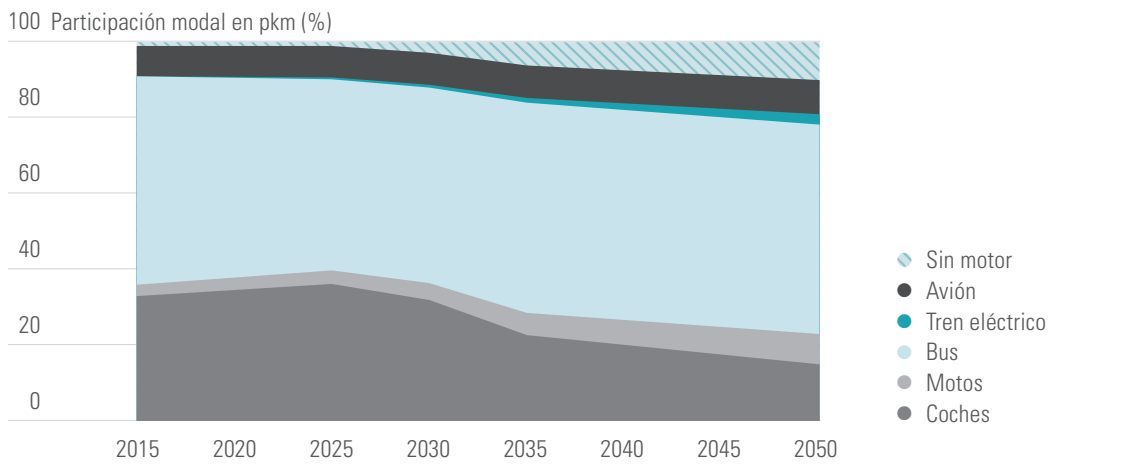
mencionados considerando también los efectos en actividad, intensidad energética, combinación de energéticos y problemas ambientales (locales y mundiales).

La mitigación de los GEI en el transporte de carga representa un reto. Requiere de la electrificación y de biocombustibles avanzados.

En escenario DDP se estimó que el consumo final de energía en el transporte de carga sería de 127 millones de barriles equivalentes de petróleo en 2050. La mitigación de los GEI en este subsector es la más desafiante, ya que estas actividades requieren grandes cantidades de energía concentrada en un volumen pequeño. Por ende, una opción para descarbonizar el transporte de carga consiste en usar los combustibles avanzados producidos en las biorrefinerías a partir de biomasa. Para el 2050 se calcula que aproximadamente un 25% del consumo energético final en el sector será abastecido por diésel de biorrefinería, mientras que alrededor del 4% sería suministrado por el biodiésel tradicional. Estos biocombustibles podrían ser usados por los camiones medianos y pesados existentes con tan solo una adaptación menor a sus motores de combustión. Como complemento, la flota remanente de camiones ligeros y medianos podrían electrificarse parcialmente. Para el 2050 solo el 10% de la flota de camiones pesados podría ser eléctrica, mientras que este valor aumenta a 40% en el caso de la flota de camiones medios y ligeros.

Los trenes eléctricos para el transporte de carga se mantienen como opciones importantes en el mediano y largo plazo. En nuestro escenario DDP, los trenes eléctricos podrían satisfacer el 10% de la demanda de transporte de carga para el 2050. El gobierno ecuatoriano ha evaluado la electrificación de proyectos de trenes en las rutas Quito-Gua-

Figura 29. Evolución de la participación modal en el transporte de pasajeros en un escenario de descarbonización profunda



yaquil (MTO, 2016), y Daule-Guayaquil-Posorja-Manta (MTO, 2018), pero hacer realidad estos proyectos de gran escala implica una participación significativa del sector privado y de la cooperación internacional.

La eficiencia energética podría desempeñar un papel importante en la descarbonización del sistema energético.

En el sector industrial, para el 2050 es posible reducir la intensidad energética en 14% respecto a la de 2015, el año base, con la implementación de tecnología de punta (calderas eléctricas, sistemas de transmisión mecánica eficientes, calor para procesos industriales de baja y media temperatura con energía solar, etc.) y aumentar la electrificación. El índice de electrificación en el sector industrial podría aumentar del actual 25% a 29%, particularmente en las compañías de alimentos y bebidas. Asimismo es posible alcanzar una mayor electrificación en el sector residencial, especialmente para cocción y calentamiento de agua. En nuestro escenario DDP, el índice de electrificación en el sector residencial aumenta del actual 25% al 32%. Sin embargo, los actuales niveles de subsidios a la energía limitan esta potencial eficiencia energética (Schaffitzel et al., 2020).

Aunque este estudio no evaluó la cogeneración industrial, otros estudios han demostrado su significativa aportación a la matriz energética y al ambiente. La instalación de tecnologías para la cogeneración industrial (600 MW) en 555 compañías podría reducir el consumo de diésel hasta en un 30% en aplicaciones térmicas (CELEC EP/UCUENCA EP/MERNNR, 2017). En las provincias de Imbabura, Pichincha y Loja existen varias plantas industriales con las condiciones ideales para aplicar energía solar concentrada en procesos térmicos industriales en sustitución del diésel y combustible bunker (Soria et al., 2020). Además de la presencia de subsidios a los combustibles fósiles, otra barrera para la cogeneración es la baja tarifa que se

pagaría para la electricidad generada en esta modalidad, mientras que para la energía térmica solar se necesitan fondos de investigación y desarrollo para nacionalizar la tecnología de concentración solar Fresnel a fin de generar energía térmica solar más barata.

La investigación y desarrollo (I+D) y las plantas piloto deben constituir políticas transversales en todo el proceso de descarbonización.

En este proceso de descarbonización deben participar tanto el sector académico como las instituciones nacionales de investigación (IIGE, INIAP, etc.). Al tiempo que se reduzcan las emisiones de GEI debe procurarse el desarrollo económico y mejorar la calidad de vida. Por ende, en el medio y largo plazo el país debe ser capaz de producir conocimiento nacional y hasta cierto grado, también tecnología. Algunas de las tecnologías disruptivas para alcanzar la descarbonización exigen elevados conocimientos teóricos y aplicados, que el país ha de desarrollar para evitar depender tecnológicamente de los países desarrollados. Los hallazgos muestran que los escenarios DDP son desafiantes pero no arriesgan el desarrollo socioeconómico del país. La descarbonización es posible sin afectar el producto interno bruto, el crecimiento poblacional, y la asequibilidad de los alimentos y la energía. Por el contrario, los escenarios DDP se construyeron sobre premisas que consideraron la sostenibilidad y el acceso a servicios energéticos modernos en los sistemas energía y usos del suelo. Los principales retos para Ecuador radican en el sector del transporte, donde no bastará con electrificar la flota de vehículos ligeros. Se requieren esfuerzos adicionales para promover el transporte eléctrico masivo de pasajeros y sustituir el diésel por biodiésel avanzado en el transporte de carga pesada.

REFERENCIAS

- Asamblea Nacional de la República de Ecuador. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética*.
- CAIT Climate Data Explorer. (2020). *Historical GEI Emisiones by country -Ecuador*. World Resources Institute. <https://www.climatewatchdata.org/countries/ECU>
- Carvajal, P. E. (2019). *The long-term role of hydropower in Ecuador's power system: Assessing climate change and cost uncertainties*. 375.
- Carvajal, P., Li, F., Soria, R., Cronin, J., Anandarajah, G., & Mulugetta, Y. (2018). Large Hydropower, Decarbonisation and Climate Change Uncertainty: Modelling Power Sector Pathways for Ecuador. *Sustainable Energy Reviews*.
- CELEC EP/UCUENCA EP/MERNNR. (2017). *Estudio del potencial de cogeneración y trigeneración en el Ecuador*.
- Gobierno de Ecuador. (2019). *Decreto 840*. Registro Oficial del Ecuador.
- IADB and DDPP-LAC. (2019). *Getting to Net-Zero Emissions: Lessons from Latin America and the Caribbean* (p. 56). Inter-American Development Bank. <https://publications.iadb.org/en/getting-net-zero-emissions-lessons-latin-america-and-caribbean>
- IIGE/MERNNR. (2020). *Hacia un sector sostenible de biodigestores en Ecuador—Propuesta de Plan de un Programa Nacional de Biodigestores—Taller de presentación de resultados realizado el 29 de enero de 2020*.

- IPCC. (2018). *Global warming 1.5 DS An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. IPCC.
- MAE/FAO. (2019). *Contribución Determinada a Nivel Nacional del Ecuador—Propuesta Técnica—Escenarios de referencia y de mitigación de las emisiones de GEI sector USCUS*. Ministerio del Medio Ambiente (MAE).
- MERNNR. (2020). *Plan Maestro de Electricidad 2018—2027* (p. 291). Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- MTOP. (2016). *Plan Estratégico de Movilidad 2013-2037*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- MTOP. (2018). *Proyecto Tren Playero modernizará sector productivo y turístico en la costa ecuatoriana*. <https://www.obraspublicas.gob.ec/proyecto-tren-playero-modernizar-sector-productivo-y-turistico-en-la-costa-ecuatoriana/>
- PNUD/MAE. (2018). *Términos de Referencia TDR: Diseño del marco teórico, diagnóstico y estructura base de una Estrategia Nacional de Bioenergía -Proyecto 00105178*.
- Rochedo, P. R. R., Soares-Filho, B., & Schaeffer, R. (2018). The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0213-y>
- Schaffitzel, F., Jakob, M., Soria, R., Vogt-Schilb, A., & Ward, H. (2020). Can government transfers make energy subsidy reform socially acceptable? A case study on Ecuador. *Energy Policy*, 137, 111120. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111120>
- Soria, R., Caiza, G., Cartuche, N., López-Villada, J., & Ordoñez, F. (2020). Market Potential of Linear Fresnel Collectors for Solar Heat Industrial Process in Latin-America-A Case Study in Ecuador. *AIP Conference Proceedings -Solarpaces 2019*.
- Villamar, D., Soria, R., Rochedo, P., Szklo, A., Imperio, M., Carvajal, P., & Schaeffer, R. (2020). Long-term Deep Decarbonisation Pathways for Ecuador: Insights from an Integrated Assessment Model. Submitted to Energy Strategy Reviews in March 2020 (ESR 20-00117). *Energy Strategy Reviews*.

ANEXO 1: NOTAS METODOLÓGICAS

El modelo ELENA (*Ecuador Land Use and Energy Network Analysis*) desarrollado por la Escuela Politécnica Nacional (EPN), con el apoyo técnico de la Universidad Federal de Rio de Janeiro en Brasil durante el proyecto DDP-LAC, está disponible para valorar las rutas de descarbonización profunda para Ecuador. El modelo ELENA se usa para valorar la expansión del sistema energético, posibles cambios en los usos del suelo y la evolución de las emisiones de GEI hasta el 2050. Se trata de un modelo integrado de optimización que toma en cuenta a la cadena completa de conversión de energía, desde la energía primaria hasta la útil, en cada uno de los sectores económicos. ELENA también modela el sistema de usos del suelo; calcula los cambios en estos usos según la demanda alimentaria y los escenarios de deforestación/reforestación hasta el 2050. Las demandas útiles de energía y alimentos, así como los escenarios de deforestación y reforestación se calculan de manera exógena.

Se empleó una serie de escenarios que describen las perspectivas en la demanda y la evolución de los parámetros tecnológicos hasta el 2050 para determinar distintas rutas energéticas y de uso de suelos en las décadas venideras. En total se analizaron seis escenarios. Primero, uno que describe la tendencia de *business-as-usual* o "como de costumbre" (caso de referencia basado en una decisión por el menor costo). Dos escenarios modelan las contribuciones determinadas a nivel nacional de Ecuador –incondicionales y condicionales– que alcanzan metas específicas en el 2025. Por último se usan tres escenarios

que modelan rutas de descarbonización profunda (DDP). El escenario DDP_{High} incluye un valor máximo de emisiones acumuladas de 1.46 GtCO₂eq hasta el 2050. En el escenario DDP_{Low} se consideró una limitación más estricta dando solamente 1.25 GtCO₂ eq. Estos límites a las emisiones se calcularon con el apoyo del modelo mundial COFFEE (Rochedo et al., 2018). Por último, el escenario DDP_{High}_Refo tiene un límite de 1.46 GtCO₂eq, pero incluye una política obligatoria de reforestación. Usar estas restricciones a las emisiones de GEI garantiza que para el 2050 los escenarios DDP considerados sean compatibles con un nivel mundial de 1.5°C.

Se puede consultar la descripción completa del modelo ELENA, su base de datos y los escenarios modelados en la publicación académica de Villamar et al., (2020).

MEXICO

CÓMO CONDUCIR A MÉXICO HACIA PARÍS: PERSPECTIVAS DE POLÍTICA PÚBLICA EN BASE A UN ANÁLISIS DE LA RUTA HACIA LA DESCARBONIZACIÓN DE TODA LA ECONOMÍA

Autores: Jordi Tovilla y Daniel Buira, Tempus Analítica A.C.

Mensajes clave

- La implementación de las políticas actuales sobre el clima y la energía en México, incluyendo la NDC de 2015 y Estrategia de Medio Siglo publicada de conformidad con el Artículo 4.19 del Acuerdo de París, será contraria a las metas del Acuerdo de París.
- Las herramientas de planificación para la descarbonización de la economía pueden brindar algunas perspectivas prácticas sobre cómo cambiar la ruta sectorial y de desarrollo de México, y dirigir las hacia París.
- Se requiere urgentemente una reestructuración de fondo del sector energético para lograr una sustitución masiva de petróleo y gas por electricidad renovable como fuente principal de energía en todos los sectores, incluyendo el transporte, los edificios, la agricultura, y gran parte de la industria.
- La adopción rápida de medidas para cambiar tanto la dinámica urbana como las tecnologías de las flotas de transporte podrá aminorar radicalmente la demanda tanto de uso vehicular privado como de energía; la electricidad limpia reducirá aún más las emisiones del sector de mayor crecimiento hoy en día.
- Aprovechar el potencial de las tierras boscosas de contribuir de manera importante a las emisiones negativas es imperativo para lograr cero emisiones netas para el 2050; esto exige no solamente la rigurosa custodia del ecosistema, sino también una profunda tecnificación de prácticas agrícolas en la gestión de ganado y cultivos para poder reducir las persistentes emisiones del campo.
- Estas profundas transformaciones estructurales solamente se podrán dar si se replantea la ruta para el desarrollo económico y social de México hacia el 2050 y más allá, lo cual conlleva claras implicaciones políticas y de inversión en el corto y mediano plazo.

Introducción: los planes actuales de México no cumplirán con el Acuerdo de París

El Acuerdo de París, adoptado en diciembre de 2015, se vislumbra como un parteaguas en las negociaciones climáticas internacionales. Aunque las metas establecidas en el Artículo 2 se alinean con la ciencia para minimizar los efectos adversos del cambio climático, las acciones emprendidas por los países para alcanzarlas son decididas en el ámbito nacional. Por lo tanto, el éxito o fracaso de estas metas dependerán de los efectos acumulados de políticas nacionales dispares, y no de la mecánica misma del Acuerdo.

En 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC) – responsables de identificar la mejor ciencia disponible para informar la política pública – publicó su Informe Especial Sobre Calentamiento Global de 1.5°C. En este informe el IPCC declara contundentemente que las NDC o Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional que los países informaron a la fecha no solo son insuficientes para lograr las metas de París, sino que son contrarias a su cumplimiento. Si los países implementan sus NDC tal como están se van a comprometer (*lock-in*) tantas emisiones futuras que será imposible lograr las metas de París (de Coninck, y otros, 2018). El IPCC aconseja a los países que desarrollen rutas transformacionales hacia el 2050 con miras a reducir las emisiones

globales a la mitad para el 2030 y lograr cero emisiones netas para el 2050.

Los planes de México para el cambio climático y la política energética más reciente, documentados en su NDC (Gobierno de México, 2015) Estrategia de Medio Siglo (SEMARNAT-INECC, Mexico's Climate Change Mid-Century Strategy, 2016), y la Estrategia de Transición Energética (SENER, 2020) tienen la finalidad de reducir la intensidad de las emisiones por PIB, pero trazan una ruta hacia el 2050 que puede dar por resultado emisiones absolutas mayores a los que se tienen hoy. Tristemente, este problema sucede no solo en México, ya que es el resultado del paradigma de planificación dentro del que se ha desarrollado la política nacional. Aún cuando el IPCC ha sido claro en establecer que se requiere un cambio estructural profundo, la mayoría de los países han generado política de la manera acostumbrada: identificando mejoras incrementales que no son adecuadas, y comprometiéndose así a emisiones futuras que son inaceptablemente altas. Para México, esto resultará en incumplimiento de sus compromisos climáticos nacionales y apostará la prosperidad económica y estabilidad financiera en una economía de combustibles fósiles que tendrá que disminuir drásticamente para mediados de siglo.

Metodología: Las herramientas para la descarbonización pueden trazar rutas hacia las cero emisiones netas

Este proyecto usa el método de Rutas de Descarbonización Profunda (Waisman, 2019) que describe un proceso para diseñar visiones de transformación a nivel país para alcanzar metas climáticas y desarrollo sostenible. Los elementos metodológicos principales incluyen fijar una meta ambiciosa para el 2050 (cero emisiones netas o acercándose a ello de manera compatible con las metas de París), "*backcasting*" o una construcción retrospectiva de la meta al presente, un enfoque de "toda la economía" para que todos (o la mayor cantidad posible) los sectores y tipos GEI se tomen en consideración, y una herramienta tipo "tablero de control" (*dashboard*) que permita la integración provechosa de resultados generados de distintas formas para crear un panorama holístico. El método hace hincapié en los intercambios, compensaciones y sinergias al mismo tiempo que reconoce la relación intrínseca entre el desarrollo social y económico y las metas para emisiones. De ahí se crean rutas físicas de transformación a detalle

para cada sector, identificando las acciones y políticas a corto, mediano y largo plazo para garantizar que las transformaciones puedan suceder.

Si proyectamos las rutas al futuro de largo plazo, podremos trazar la transición hacia cero carbono tomando en cuenta el ciclo de vida natural y la renovación de equipo e infraestructura, las modificaciones en la conducta de las personas, y metas socioeconómicas a las que se aspira. Además, se identifican y evitan soluciones que pueden ofrecer aparentes beneficios en el corto plazo pero que son de obstrucción en un marco a más largo plazo – por ejemplo, que conduzcan a emisiones comprometidas o activos varados – centrándose así en el desafío principal que enfrentan la mayoría de los países con las NDC hoy. Cuando se planifica infraestructura que demanda mucho capital, esto se vuelve de crucial importancia; así como cuando se toman decisiones que determinan las futuras dinámicas de mercado.

La planificación del proceso de descarbonización debe ser dirigida por los pilares conceptuales que se buscan lograr de manera simultánea:

- La descarbonización rápida de los sistemas eléctricos mediante el despliegue de energía renovable y fuentes limpias y estables que lo respalden.
- La electrificación generalizada del uso de energía, impulsando la implementación de energía baja en carbono.
- El cambio a combustibles alternativos cero carbono para aquellos usos de energía no fácilmente electrificables.
- La búsqueda generalizada de eficiencias en productos y procesos para mejorar la intensidad energética en todos los sectores (ej. transporte, industria, agricultura, etc).
- Mejoras en la estructura urbana para reducir la huella de carbono de las personas y mejorar su calidad de vida.
- Fomentar los sumideros de carbono naturales mediante la buena gestión de los bosques y otros ecosistemas.
- Transformar la agricultura para reducir las emisiones de los cultivos y ganado, y aumentar los sumideros de carbono.

Proyectamos dos escenarios para el desarrollo económico de México para el 2050 sobre la base del mismo crecimiento económico y poblacional. El primero presupone que las NDC se implementarán al 2030 con una ambición similar extendida para continuar al 2050, proporcionando un Escenario de Políticas Actuales (CPS). El segundo, o el Escenario DDP, se desarrolló expresamente para alcanzar las metas de París usando los pilares conceptuales enlistados arriba. El modelar ambas rutas, abarcando siete sectores, al mismo tiempo que se rastrean las emisiones de tres gases de tipo invernadero, ha permitido hacer com-

paraciones directas, resaltando las diferencias clave que México tendrá que abordar para cambiar su trayectoria.

Utilizamos un abordaje multinivel para el análisis de rutas. En cuanto a la electricidad y el transporte, se llevó a cabo el modelaje a detalle usando **Energy PATHWAYS** (Evolved Energy Research, 2019). Esta herramienta de contabilidad de sistemas energéticos modela la economía energética con una óptica granular y permite un abordaje de construcción retrospectiva para demostrar cuáles son los cambios de infraestructura física requeridos para alcanzar las metas establecidas. La evolución de las tecnologías de generación de electricidad (y su acoplamiento con otros sectores energéticos) fueron modelados con **RIO**, la plataforma Regional de Inversión y Operaciones (Evolved Energy Research, 2019). Esta optimiza el costo de la expansión de capacidad para la generación de electricidad, la producción de combustible, y la transmisión de infraestructura requerida, con operaciones del sistema detalladas y secuenciales por hora, facilitando así el análisis del sistema de energía de manera integral.

La transformación de todos los demás sectores de energía se describe a nivel "tablero de control", específicamente por modificación de los factores impulsores de la identidad de Kaya (actividad, energía, e intensidades de carbono) para cada sector. Las emisiones que no parten de la combustión en los procesos industriales también se rastrean al nivel tablero. Los sectores no-energéticos y sus emisiones (AFOLU, Residuos) se han incluido en el nivel tablero preliminar, ya que la herramienta que se usa sigue en desarrollo.

Resultados: La descarbonización sectorial puede apalancar las rutas de desarrollo económico y social

El resultado de nuestro trabajo brindó narrativas de cambios por sector, con claras diferencias comparado con los planes actuales del Gobierno de México (GoM).

La electrificación transformará todos los sectores energéticos. Esto aumentará de manera importante la demanda de electricidad – reflejada en la consecuente rápida caída en demanda de energía fósil – que a su vez tendrá que ser provista por tecnologías cero carbono. Nuestro análisis detallado nos da la confianza que un despliegue acelerado y a gran escala de la generación de energía descarbonizada proporcionará energía cero carbono que será confiable y competitiva; otros sectores la podrán emplear en sus propias transiciones rápidas. Concretamente, la **Figura 30** nos indica la diferencia entre la generación de energía y el despliegue de almacenamiento por tecnología en am-

bos escenarios, con un ejemplo del despacho por hora de energía DDP en 2050 (**Figura 31**) demostrando la viabilidad de este enfoque altamente renovable.

El transporte de pasajeros es actualmente el sector de más emisiones, mismas que van en rápido aumento. Se espera mayor crecimiento conforme se enriquezca la población, exacerbado por la expansión urbana desmedida. Por lo tanto, un elemento central de la narrativa de este trabajo es que el desarrollo urbano deberá suceder de forma muy distinta, no solamente para la reducción del aumento de emisiones, sino además para aumentar el bienestar y la salud públicos. Cambiar la estructura urbana distribuirá servicios y oportunidades de manera más equitativa dentro de la ciudadanía, en tanto que se construye un sistema robusto de transporte público para mejorar el

confort, seguridad y tiempo de traslado para los pasajeros. Al mismo tiempo, se requerirá de la pronta adopción de trenes, autobuses y coches (Figura 32), que funcionen a base de electricidad proveniente de fuentes renovables en lugar de combustibles fósiles. Esto aumentará significativamente la demanda general de energía eléctrica al mismo tiempo que se reduce la demanda de petróleo.

La reducción en demanda de petróleo y gas (Figura 33) es un componente necesario para la descarbonización profunda: conforme la movilidad personal en México se desvincula de los combustibles fósiles, las oportunidades de exportación

también caerán, ya que otros países estarán realizando medidas similares para su propia descarbonización. Esto contrasta directamente con lo planteado en la política del Gobierno de México de incrementar la inversión en la producción de petróleo y capacidad de refinación. La demanda de México de gas fósil, actualmente tanto para generación eléctrica como para uso térmico por la industria y los edificios, se eliminará más lentamente. Sin embargo, este combustible se importa principalmente de Estados Unidos y es de producción de lutitas (*shale*) y de bajo costo, lo cual hace que su sustitución por renovables sirva para impulsar mayor actividad económica nacional y fortalezca la soberanía energética mexicana.

Figura 30. Capacidad eléctrica instalada (GW)

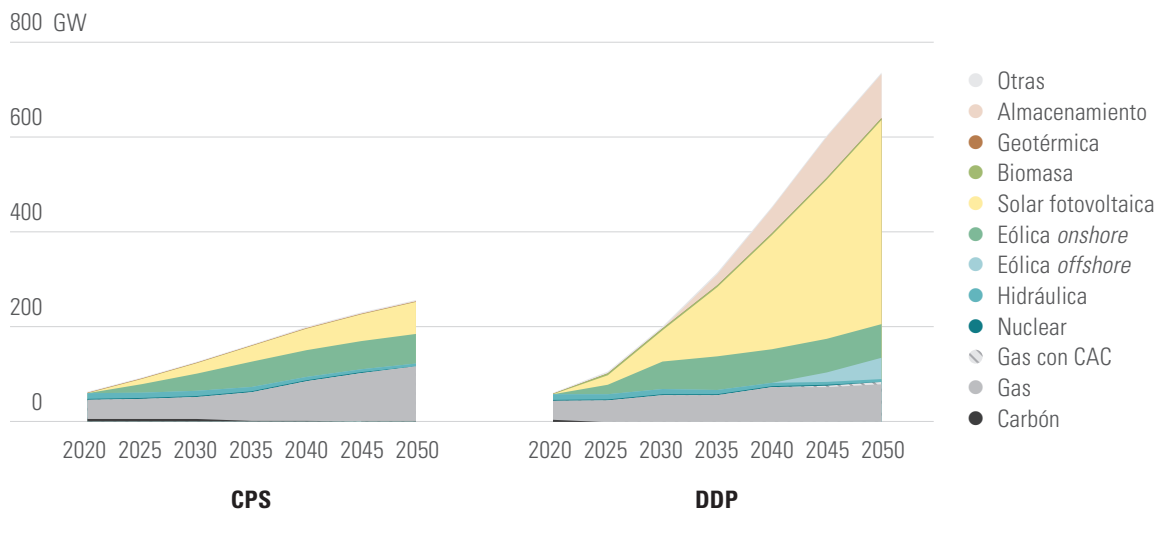


Figura 31. Gasto de electricidad por hora en 2050 por regiones en función de DDP (GW)

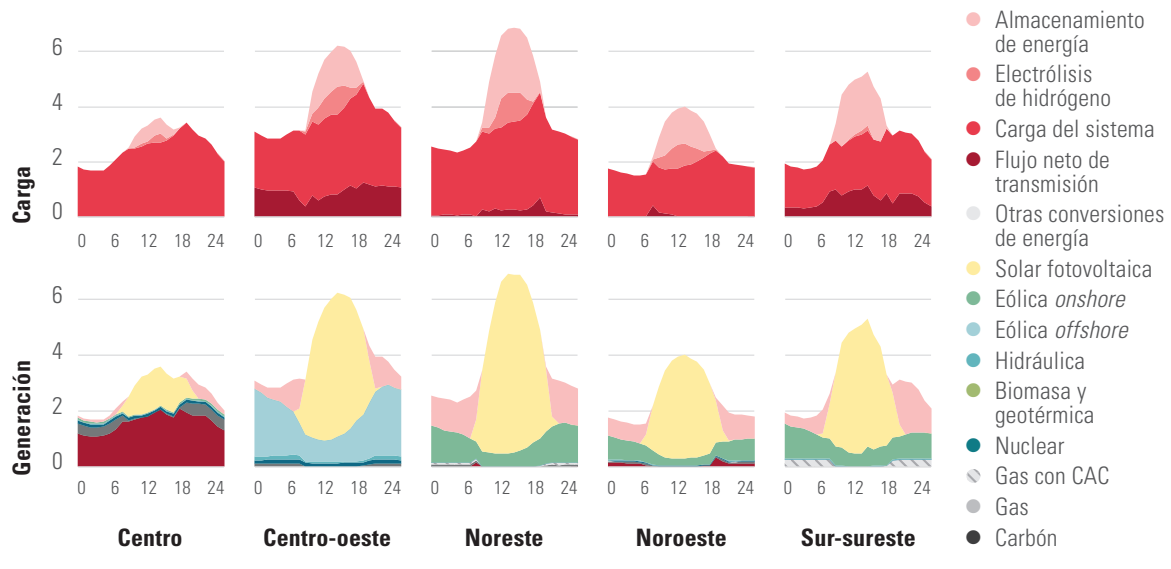


Figura 32. LDV transition to EVs

(a) ventas (%); (b) Servicios anuales proporcionados (miles de millones de vehículo-km); (c) Demanda energética (EJ)

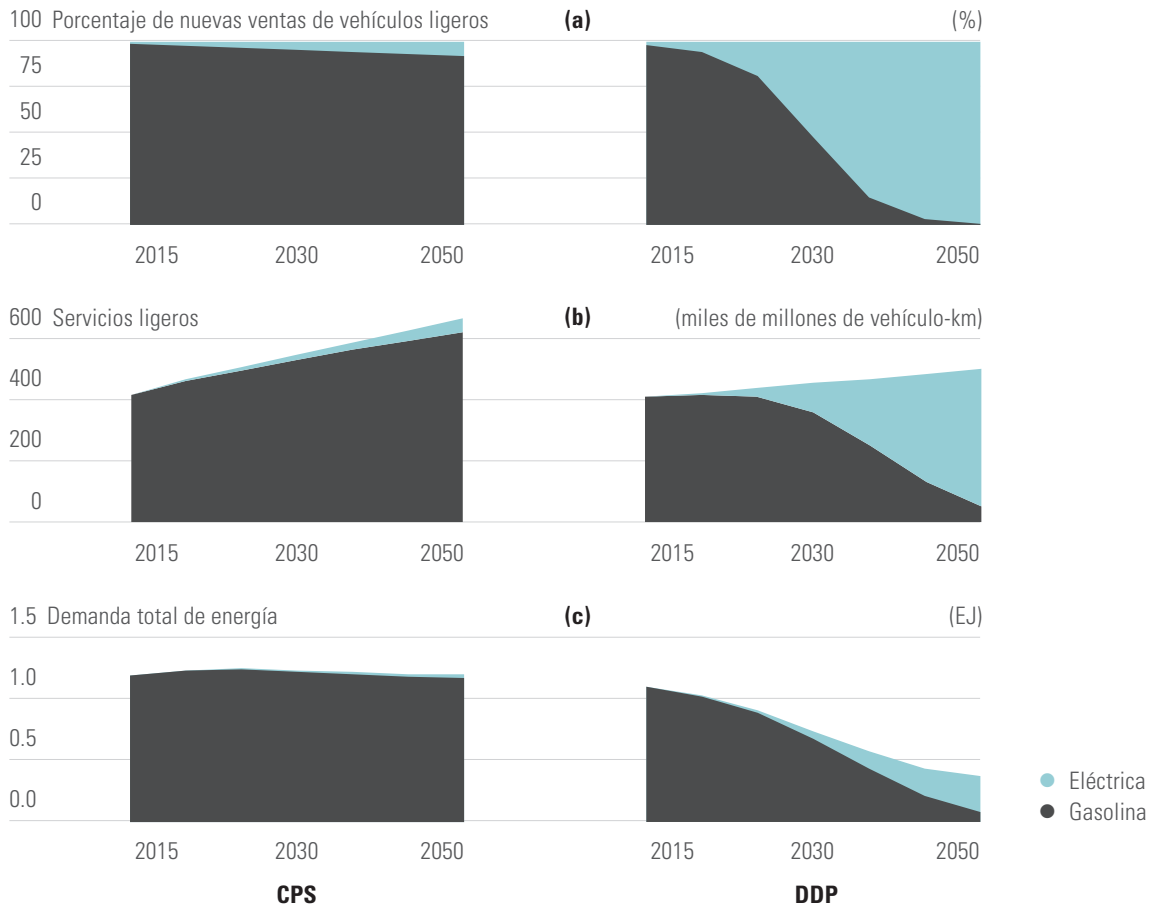
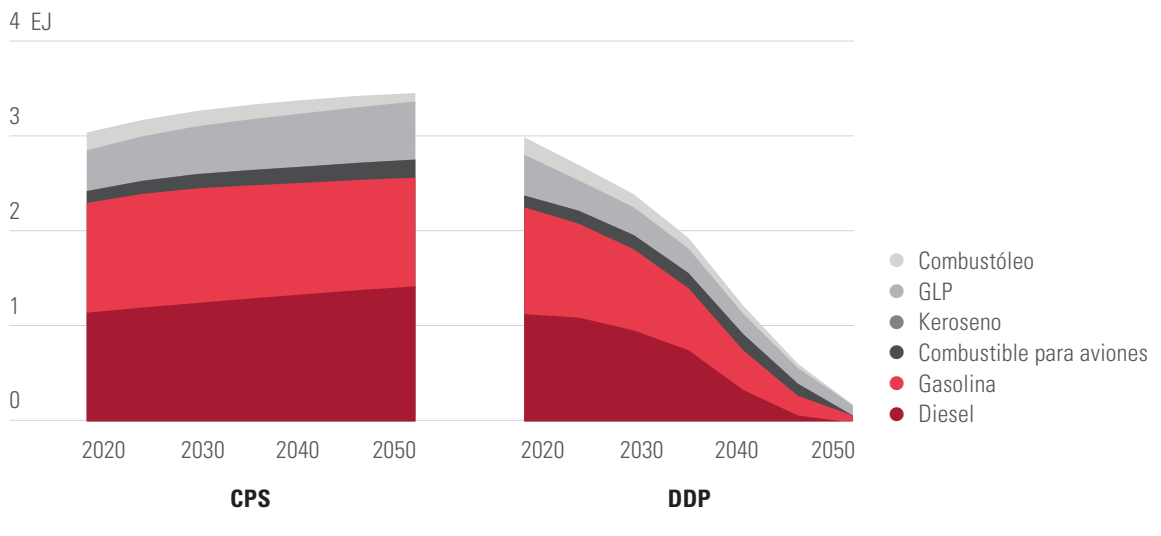


Figura 33. Demanda de combustibles derivados del petróleo (EJ)

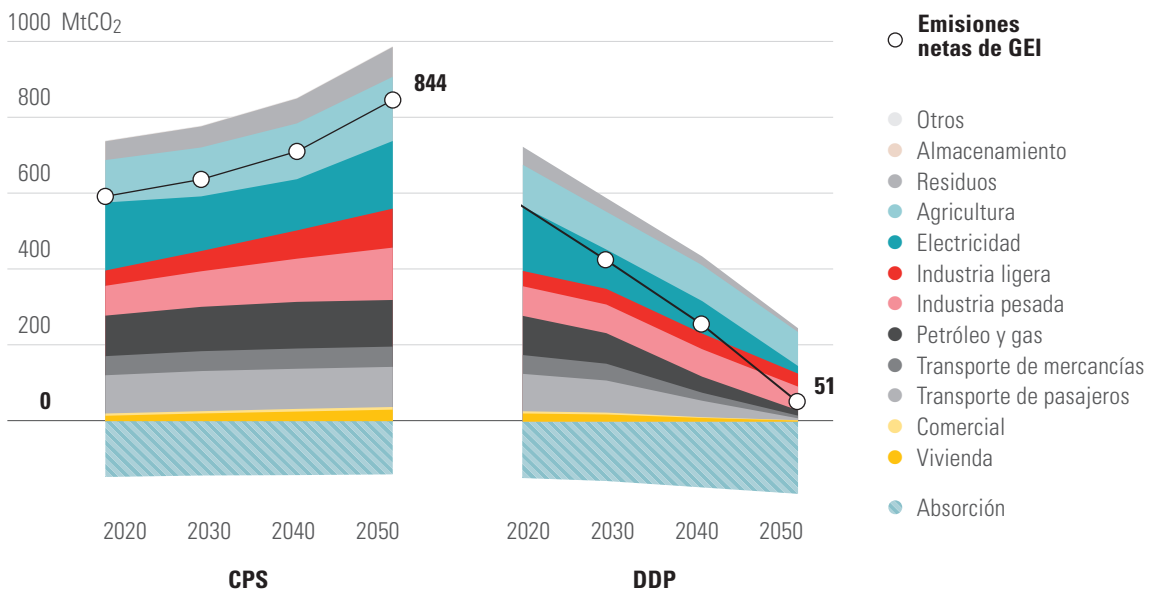


El transporte de carga y la industria experimentarán rápidamente mejoras en eficiencia y en la electrificación directa cuando se implementen cambios modales radicales en algunos corredores de alto uso para transporte de carga. Además, la innovación en procesos para la industria también reducirá aún más las emisiones. Sin embargo, permanecen usos de energía para los que con el tiempo se tendrán que generar combustibles cero carbono adicionales mediante una variedad de rutas tecnológicas, nutridos a partir de biomasa, residuos, o energía renovable. Estos últimos con el tiempo eliminarán el uso de combustibles fósiles, una vez encarrilada la sustitución – aunque no se completará para el año 2050. La transformación industrial que ofrecerá combustibles cero carbono presenta oportunidades adicionales para la inversión pos-petróleo con su actividad económica correspondiente.

Las emisiones de edificios –que van en aumento paulatino en el escenario de políticas actuales, conforme la prosperidad supera en ritmo a las mejoras continuas en eficiencias– se podrán reducir rápidamente mediante una combinación de calentamiento solar (una solución de amplio uso en latitudes similares alrededor del mundo) y la electrificación, de la mano con normas mejoradas para la construcción, el equipo y los aparatos domésticos. La generación de energía distribuida ofrece otra importante oportunidad económica, especialmente para el sector residencial que emplea electricidad – mayormente generada a partir de combustibles fósiles – y es subsidiada actualmente. La inversión en tecnología solar fotovoltaica puede cortar las emisiones y reducir los costos para el gobierno al mismo tiempo.

AFOLU es de crucial importancia, ya que México tendrá que aumentar las absorciones GEI de este sector para cumplir con sus metas. Mejorar la gestión de los bosques se combinará con la intensificación de productividad agrícola (lo cual libera la tierra para ser forestada) para aumentar el sumidero. Esto deberá complementarse con reducciones paulatinas en emisiones resultantes del uso de fertilizantes al igual que de fermentación entérica y manejo de estiércol, con el subsecuente resultado de casi desvincular el aumento de agricultura del aumento de emisiones. Si bien nuestro análisis esboza la transformación AFOLU, sí subraya el requisito de una profunda tecnificación del sector desde la perspectiva de toda la economía, enfatizando los impulsores de emisiones de importancia histórica en los que se tendría que centrar la política. En la **Figura 34** se puede ver el resultado neto de estas transformaciones sectoriales. El escenario de políticas actuales resulta en emisiones netas en 2050 de 844 MtCO₂, mientras el de descarbonización profunda resulta en emisiones netas de 51 MtCO₂e, lo que representa una reducción de 94%. Las emisiones per capita habrán caído de 4.2tCO₂e en 2015 a 0.3tCO₂e en 2050, alineado con el aumento global de temperatura de entre 1.5 y 2°C. Las reducciones más dramáticas vendrán a partir de cambios en el uso de la energía, con una disminución marcada en la actividad del petróleo y del gas. Los bosques tendrán un ligero aumento de absorciones de CO₂ comparado con los valores actuales, mientras que la huella GEI de los sistemas alimentarios se estabiliza y con el tiempo se maneja a la baja. Ya que nuestro análisis de la agricultura y la industria es menos detallado que el de otros sectores, trabajo futuro podrá revelar más oportunidades para la reducción de emisiones.

Figura 34. Rutas de emisión de GEI por sectores, incluidas las absorciones, para las situaciones CPS y DDP (MtCO₂e)



Conclusión: Se necesitan cambios rápidos y profundos en las políticas si México ha de lograr el éxito

México puede alcanzar las metas del Acuerdo de París y también mejorar la vida para sus ciudadanos. Sin embargo, esto demanda virar de la ruta actual de desarrollo ya emprendida, y la narrativa que ha estado al centro del debate de política pública desde esta última generación. Se necesita un paradigma distinto para la planificación y una importante redirección a la inversión para poder implementar esta nueva visión de desarrollo. La riqueza renovable de México, su base industrial, ubicación geográfica, y mano de obra calificada hacen de esta transformación – que se tiene que dar a escala global – una oportunidad para avanzar hacia una economía basada en el conocimiento y alta tecnología, catalizando el crecimiento económico, el incremento en prosperidad, y mayor inclusión social.

Tomar medidas con políticas únicas no bastará; se tendrán que emplear suites de políticas complementarias o “paquetes de políticas” en los distintos sectores para trabajar en conjunto, y estos serán más efectivos si se combinan políticas transversales con medidas específicas por sector. A continuación presentamos un número de cambios transversales en las políticas que se necesitarán para facilitar el cambio sectorial:

- **Planificación:** El gobierno federal debe formular – tan pronto como se pueda y en colaboración con los actores de los sectores productivos y sociales – un plan integrado a largo plazo para la descarbonización para el año 2050 que fije metas ambiciosas a largo plazo e hitos bien definidos en la ruta. De aquí se tendrán que identificar la secuencia de cambios necesarios, al igual que las acciones concretas de políticas para alcanzarlas. De esta manera, las acciones urgentes a corto plazo requeridas para una transformación a largo plazo se podrán tomar rápidamente a partir del 2020. Esta estrategia debe actualizar la Estrategia de Medio Siglo (EMS) y alimentar el proceso de actualización de las NDC.
- **Empleo:** Una transición justa deberá ser la piedra angular de la transformación, si es que se va a alcanzar el éxito al impulsar el desarrollo social y económico. Garantizar esto requerirá de arreglos institucionales claros con papeles y responsabilidades demarcados. El gobierno federal tendrá que contemplar el establecer un consejo de múltiples interesados o un cuerpo similar para proporcionar amplia dirección y supervisión a las actividades de transición, en tanto que las voces líderes de los sectores en crecimiento podrán identificar y comunicar el alcance del crecimiento y creación de nuevos empleos. Los representantes de trabajadores y los sindicatos, y en especial en los de sectores que reducirán su actividad, pueden colaborar con aquellos sectores en crecimiento para identificar la capacitación y otros apoyos que se necesitarán para aquellos individuos que busquen cambiar de sectores. La inversión conjunta

del gobierno central, las comunidades locales y el sector privado, aunado a la colaboración internacional, podría apoyar esta transición, misma que logrará objetivos sociales y económicos adicionales. Por ejemplo, la inversión y capacitación sostenida que se requiere puede proveer un medio para garantizar que más mexicanos se unan a la economía formal, aumentando su productividad, protección social y aportaciones fiscales.

- **Normas regulatorias:** La intensidad del carbono y desempeño de los productos y comportamientos deben formar criterios clave de aprobación regulatoria en todos los sectores, desde los códigos de construcción, el equipo industrial, los vehículos, línea blanca para el hogar, y productos al consumidor, como también lineamientos para las compras y el gasto públicos. Se deberá establecer en todos los sectores desde el inicio la adopción acordada de normas al paso del tiempo, siguiendo un calendario cada vez más riguroso, para enviar señales claras al mercado, con jugadores de mercado que sean clave, colaborando con las autoridades relevantes por conducto de esquemas organizados que garanticen la transparencia en términos de alineación con las metas de París. Esto naturalmente fluye hasta llegar a los precios, valores de reventa, lanzamientos de productos, modificaciones, y retiro del mercado de productos y servicios que no cumplan.
- **Precios al público:** Los ministerios de finanzas en todo el mundo tendrán que jugar un papel decisivo para que la transición al bajo carbono se consolide, y así será para México. Los impuestos, aranceles, incentivos y subsidios deben evolucionar para aumentar el costo de aquellas actividades que deben reducirse rápidamente en volumen y al mismo tiempo apoyar la adopción de nuevas tecnologías y prácticas. Estas medidas se pueden aplicar de manera gradual o escalonadas para facilitar la aceptación del mercado; el apoyo a nuevas alternativas u opciones deben aumentar al mismo tiempo (o si se puede, antes) que las alternativas altas en carbono incrementen en costo para acelerar el cambio sin causar penuria.
- **Sostenibilidad fiscal:** El ambicioso programa de desarrollo económico y social requerido para alcanzar las metas nacionales demanda que el Estado proporcione visión y liderazgo a la vez que fomenta la educación y la inversión. Gestionar este cambio exigirá el fortalecimiento de habilidades y sistemas dentro de la administración pública en todos los niveles de gobierno. En este contexto, la dependencia histórica de México en ingresos del petróleo para conseguir la estabilidad fiscal – que no es representativa de su economía diversa, basada mayormente en servicios – rápidamente se volverá inadecuada conforme la activi-

dad petrolera decline globalmente para evitar los efectos catastróficos del cambio climático. México deberá, por lo tanto, fijarse una nueva visión de sostenibilidad fiscal. Un vínculo más fuerte entre los ingresos fiscales y la actividad económica nacional conducirá a un círculo virtuoso al mismo tiempo que la inversión en la transición estimule actividades que a su vez lleven a un aumento en ingresos, facilitando más inversión. Las oportunidades nuevas generan empleos, y con el tiempo será más fácil que los ciudadanos sean parte de la economía formal. La trayectoria de la carga fiscal con el tiempo se tendrá que alinear con las metas nacionales y locales, y con las rutas tecnológicas en general. Por otra parte, la mayor parte de los recursos para los estados y municipios entran por conducto de fuentes federales, lo cual significa que los ingresos locales y sistemas de recaudación se tendrán que fortalecer para financiar proyectos ambiciosos y apropiados en el largo plazo para suplir las necesidades locales.

Los cambios en políticas específicos para los sectores también requieren de cambios, incluyendo:

- **Ciudades:** El papel de la estructura urbana como impulsor de la calidad de vida del ciudadano tiene que ocupar un lugar central en la planificación nacional, particularmente los esfuerzos para mejorar la equidad. Una visión holística que incluya oportunidades laborales, acceso a servicios, salud pública, calidad de unidades habitacionales y la disponibilidad de transporte de calidad (incluyendo seguridad, confiabilidad, confort, y tiempos de traslados) fomentará los esfuerzos de planificación, regulación e inversión.
- **Tecnología para el transporte:** Alcanzar redes modernas de transporte público que den servicio a un mayor porcentaje de la población será un pilar central del desarrollo urbano de México. Dentro de esto, la flota de transporte urbano – tanto pública como privada – tendrá que ser electrificada rápidamente, aumentando efectivamente la venta de vehículos eléctricos (VE) del 2020 para superar las ventas de motores de combustión interna (ICE por sus siglas en inglés) antes del 2035.
- **Energía:** La prosperidad y soberanía futura del país tendrá que arraigarse en los abundantes recursos renovables que posee México, mismos que podrán convertirse en los principales beneficiarios de la inversión en energía si se optimizan para ello las fortalezas de manufactura y fuerza laboral del país. Para satisfacer la creciente demanda de renovables y al mismo tiempo sustituir la generación fósil en curso, se tendrá que desplegar rápidamente la capacidad de generación renovable. Por ello, los inversores no deberán centrarse más en el sector de petróleo y gas, ya que esto pondrá en riesgo la prosperidad futura en base a precios inciertos de materias primas o *commodities* internacionales al mismo tiempo que ponen en riesgo la salud pública y hacen imposibles de lograr las metas climáticas.
- **Industria:** Las oportunidades creadas por el auge de la electricidad renovable y la electrificación del transporte deberán marcar la dirección del crecimiento futuro de la industria, aún cuando se reduzca la dependencia en los combustibles fósiles y se hagan modificaciones para poder usar combustibles cero carbono elaborados con recursos naturales (residuos, bio, sintético de electricidad cero carbono) donde sean relevantes. Al igual que otros países que también persiguen la meta de la descarbonización, la pérdida de ingresos del petróleo debe sustituirse con el aumento de actividad en tecnologías bajas en carbono, como son la energía limpia, los vehículos eléctricos, y materiales de construcción sostenibles.
- **AFOLU:** La conservación de los bosques tendrá que seguir mejorando para aumentar o mantener el sumidero actual de carbono durante décadas venideras. No obstante, esto solamente beneficiará a la transición nacional si al mismo tiempo se reducen las emisiones agrícolas al cambiar de prácticas, tanto en cultivos como en ganado, al igual que cambios en la demanda de los consumidores. Si las emisiones agrícolas siguen aumentando según las tendencias recientes, este incremento en emisiones cancelará las absorciones en bosques para el 2050, lo cual sugiere la necesidad de tomar acción mediante políticas que vinculen la prosperidad agrícola con el buen manejo forestal.

REFERENCIAS

- De Coninck, H. et al. (2018). Strengthening and Implementing the Global Response. En V. P.-O.-O. Masson- Delmotte, *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. IPCC.
- Evolved Energy Research. (2019). *350 ppm Pathways for the United States*. Obtenido de: https://docs.wixstatic.com/ugd/294abc_95dfdf602afe4e11a184ee65ba565e60.pdf
- Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020, México. Obtenido de: <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Mexico%20First/NDC-Esp-30Dic.pdf>
- SEMARNAT-INECC. (2016). Mexico's Climate Change Mid-Century Strategy. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México. Obtenido de: https://unfccc.int/files/focus/long-term_strategies/application/pdf/mexico_mcs_final_cop22nov16_red.pdf
- SENER. (2020). Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. *Diario Oficial de la Federación 7/02/2020*. México. Obtenido de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020
- Waisman, H. et al. (2019). A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies. *Nature Climate Change*, 9, 261–268. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0442-8>.

PERU

LLEGAR A CERO EMISIONES NETAS Y CREAR MÁS OPORTUNIDADES SÍ ES POSIBLE: EL CASO DE LOS SECTORES AFOLU Y TRANSPORTE

Daniel De La Torre Ugarte, Carlos Heros, Mauricio Colado, Willy Mak, Fernando Requejo (Universidad del Pacífico, Lima, Perú), and Yann Briand (IDDRI)

Mensajes clave

- Perú es altamente vulnerable al cambio climático, y las intervenciones principales para minimizar las emisiones de GEI deben desarrollarse en AFOLU y transporte.
- Las acciones de política actuales NDC de Perú para AFOLU apuntan hacia la dirección correcta, pero requieren de un considerable fortalecimiento. Por ejemplo, 1) Impulsar la gestión Sostenible de las concesiones forestales; 2) Fortalecer la gestión forestal en comunidades nativas; 3) Incentivar a las comunidades nativas para la conservación forestal; 4) Mejorar la gestión de Áreas Naturales Protegidas; 5) Asignar los derechos de uso en áreas donde no han existido; 6) Incrementar las plantaciones forestales comerciales.
- Puede generarse un conflicto entre la reducción de la deforestación, la reforestación y la producción de alimentos por ello se requiere de prevención y planificación.
- Perú necesita elaborar un plan nacional y un paquete de políticas de implementación para el transporte, que incluirá un incremento del espacio para el tránsito de vehículos, un cambio del uso del transporte hacia autobuses eléctricos urbanos e interurbanos y la electrificación general de los vehículos. Más trabajo político debe ser garantizado.
- La ruta DDP proyectada muestra una reducción de 75% en AFOLU, y 80% en emisiones de transporte BAU, -50% comparado con el presente, con reducción en congestión y beneficios en la calidad local del aire.

Sí es posible que Perú siga una ruta hacia cero emisiones netas

El Acuerdo de París ha establecido un compromiso entre países para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todas las actividades socio-económicas. A través de las NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional) voluntarias, cada país adopta medidas para la descarbonización progresiva para mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales para el final de este siglo.

En Perú es esencial la descarbonización del sector AFOLU¹³ y de los sectores de transporte de pasajeros, ya que las emisiones GEI aumentarán por 1.5% y 4% respectivamente cada año si no se toma ninguna acción. Al modelar la descarbonización en las políticas para AFOLU, vemos que reducir las emisiones en 116.6 Mt CO₂ eq. para 2050, comparado con el escenario *Business as Usual*, significa una reducción del 71.4% y la preservación adicional de 4.06 millones de hectáreas de bosques primarios, y que esta reducción ocurre principalmente mediante una reducción de la deforestación del bosque tropical amazónico por la agricultura, la gestión forestal sostenible, la asignación de derechos de propiedad, y la gestión sostenible de concesiones forestales. Además, la modelación de las políticas de descarbonización en el sector de transporte demuestra una reducción de emisiones en 25.8 Mt CO₂ eq. en 2050 comparado con el escenario *Business as Usual*, lo cual significa una reducción de 85.6%. Dicha reducción ocurre principalmente por el aumento en infraestructura del transporte público y la electrificación del transporte. Se reducen las emisiones de transporte de pasajeros, aún cuando el total de kilómetros viajados aumente con el tiempo. En general, el análisis sugiere que Perú estaría en el camino a las cero emisiones netas para el 2050.

El bosque representa una oportunidad de crecimiento y desarrollo económico. Perú tiene 73 millones de hectáreas de bosque tropical amazónico, ocupando el noveno lugar en área forestal en el mundo con una biodiversidad de valor incalculable. Sin embargo, se deforestan 144,000 hectáreas cada año. El sector forestal y la industria maderera contribuyen menos de 0.5% del PIB y una de cada tres personas en la región del bosque tropical amazónico es pobre. Se necesita forjar cambios profundos para crear oportunidades para las comunidades y conservar el bosque

tropical amazónico. Obtener valor sostenible del bosque tropical amazónico ofrece una excelente oportunidad de demostrar de qué manera una ruta de descarbonización profunda puede proporcionar nuevas oportunidades de ingresos y conservar el bosque primario.

Perú se ha comprometido a reducir hasta 30% de las emisiones GEI para el 2030. Las NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional) implican acciones en todos los sectores y por parte de todos los actores de la sociedad. Es un magnífico paso inicial para hacer frente al cambio climático (además de ser una base de referencia). Aún así, quizá no sea suficiente, y se tendrá que construir un camino confiable que lleve a la descarbonización de la economía para el año 2050.

Se requiere de más esfuerzos en AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de Suelo) para reducir profundamente las emisiones. El sector AFOLU es el que más altas emisiones genera, responsable de 44.9% del total de emisiones GEI. La deforestación de los bosques tropicales amazónicos es la principal fuente de emisiones GEI en AFOLU (81.9%), así que los esfuerzos deben centrarse en la reducción de los factores que impulsan la deforestación. La expansión agrícola y ganadera genera el 76.5% de la deforestación anual.

El desbosque es la práctica asequible a los pequeños agricultores para manejar la pérdida de nutrientes en los suelos de la Amazonia. Lamentablemente, dicha práctica empuja la conversión del bosque primario hacia áreas de cultivo. Se calcula que para obtener una hectárea de tierra de cultivo los agricultores retiran y queman 4 hectáreas de bosque primario. A falta de capacidades técnicas y financieras, los pequeños agricultores mantienen su producción utilizando prácticas que crean erosión y reducen la eficiencia de la gestión de la tierra.

Generar valor en el bosque es la ruta clave para descarbonizar el sector AFOLU. Para reducir la deforestación y mejorar los sumideros de carbono que ofrece el bosque tropical amazónico, se requiere de un esfuerzo para inducir a los actores a valorar el uso sustentable y conservación de un ecosistema que llevó siglos en desarrollarse. El propósito principal es detener la deforestación añadiendo valor al uso a largo plazo del bosque tropical amazónico y a los servicios ecosistémicos que proporciona. Para una comunidad que enfrenta retos de desarrollo como la pobreza, la mala salud, la falta de educación y

¹³ El sector AFOLU incluye Agricultura y LULUCF (Uso de Suelo, Cambio de Uso de suelo y Silvicultura)

la seguridad alimentaria, etc., es difícil priorizar el valor a largo plazo del bosque; la creación de un valor a corto y largo plazo para el bosque en pie se destaca como el camino para detener la pérdida de bosque.

La descarbonización profunda de la AFOLU podría alcanzarse con 5 grupos de acciones. Para cumplir con el Acuerdo de París, el bosque tropical se podrá descarbonizar mediante: (i) la asignación de derechos de propiedad en bosques no categorizados en la Amazonia; (ii) incrementar la gestión sostenible de concesiones forestales; (iii) promover buenas prácticas de gestión forestal y conservación en las Comunidades Nativas; (iv) aumento de plantaciones forestales con fines comerciales (v) mejorar la gestión de las Reservas Naturales.

La asignación de derechos de propiedad para bosques no categorizados en la Amazonia implica otorgar algún tipo de derecho o titularidad en áreas forestales actualmente no categorizadas. Esto es de suma importancia porque los bosques no categorizados presentan la principal la tasa de deforestación anual, 36.1%. La meta para el 2050 es asignar los derechos de propiedad de 15.3 millones de hectáreas. El requerimiento financiero para la asignación de derechos (incluyendo titulación, monitoreo, fondo para control e incentivos) es de \$536 millones de dólares (valor neto presente de \$328 millones con una tasa de descuento de 10%).

Incrementar la gestión sostenible en concesiones forestales. La gestión forestal sostenible permite la actividad de cosechar el bosque sin afectar la capacidad de los bosques en concesión de seguir proporcionando sus funciones de ecosistema. La meta para el 2050 es llegar a 7.4 millones de hectáreas de nuevas concesiones de bosques bajo gestión sostenible. Según los datos de SERFOR, el requerimiento financiero acumulado de la gestión sostenible del bosque llega a \$4 mil millones (con valor neto presente de \$2.7 mil millones con una tasa descontada de 10%) en 2050. Este cálculo incluye la transformación maderera en madera aserrada y logística. Sin embargo, se necesita inversión pública en caminos porque el transporte representa más de 60% de los costos totales.

Incentivos comerciales para la reforestación y restauración de plantaciones forestales. Los incentivos son necesarios para estimular la recuperación de tierras deforestadas, y como consecuencia, promover la restauración de los ecosistemas forestales; la meta para el 2050 es alcanzar 2.4 millones de nuevas hectáreas de plantaciones forestales. La falta de mecanismos financieros adecuados y la brecha en infraestructura para superar la geografía de

la región son los mayores obstáculos para los inversores. Se estima una inversión acumulada de unos \$27 mil millones (a valor neto presente de \$3.4 mil millones con tasa descontada de 10%) para 2.4 millones de hectáreas de plantaciones forestales. Estos costos incluyen la mejor tecnología disponible en Perú, pero no incluyen la logística, la transformación maderera ni los gastos adicionales del Estado para mejorar caminos. El requisito financiero para la forestación comercial es muy grande, pero es la intervención más aceptable si consideramos que estudios recientes indican que la gestión sostenible de los bosques primarios puede surtir importantes impactos negativos en los ecosistemas locales, como son las pérdidas de nutrientes de los árboles viejos. Además, la investigación reciente indica que el bosque tropical amazónico enfrenta un punto de quiebre. En este contexto, es necesario considerar campañas de forestación agresivas y actividades económicas para el bosque en pie.

La gestión forestal y la conservación por parte de comunidades nativas. Paradójicamente, la mayor parte de la deforestación en las zonas más ricas desde el punto de vista ambiental se produce cerca de las comunidades nativas, que son las que más sufrirán al perder su tradición agrosilvicultura; el problema es que carecen de la capacidad física y legal para detener la deforestación. Estas comunidades también tienden a ser muy pobres y carecer de los servicios básicos. Se ha demostrado que los acuerdos de conservación forestal, junto con los derechos de propiedad obligatorios vinculados a su uso, surten un impacto positivo en el estándar de vida de las comunidades nativas y reduce la tasa de pérdida forestal en las tierras de las comunidades nativas. Estos acuerdos, para ser efectivos, sin embargo, requieren de educación y apoyo logístico para fomentar la generación de una serie de negocios basados en: la silvicultura sostenible, fabricación de muebles, turismo sostenible, farmacéutica, alimento de alto valor nutricional (nueces, etc.). También hay oportunidades para la investigación en biodiversidad y el pago por servicios ecosistémicos. La meta de nuestro DDP es alcanzar 11 millones de hectáreas gestionadas por las comunidades nativas. Los pagos por incentivos para las comunidades nativas requerirán de un monto acumulado de \$1.5 mil millones (a valor neto presente de \$355 millones con una tasa descontada de 10%) para superficie acumulada de 3.8 millones de hectáreas para el año 2050. El reto es que esta intervención se financie al 100% con el erario público. Es difícil imaginar que el Gobierno de Perú incremente su presupuesto para esta intervención, en especial si tomamos en cuenta que el valor neto presente representa la mitad del presupuesto actual del Ministerio del Ambiente de Perú.

Las intervenciones aisladas surten menor efecto en la reducción de emisiones GEI. Al 2050, cada uno de las arriba mencionadas intervenciones tiene el potencial de reducir emisiones de manera significativa: la asignación de derechos lo reduce en 620 Mt CO₂ eq., las concesiones forestales 290 Mt CO₂ eq., las plantaciones forestales 423 Mt CO₂ eq., mejoras en gestión por comunidades nativas 347 Mt CO₂ eq. y gestión de reservas naturales 857 t CO₂. La asignación de derechos y la gestión forestal sostenible aumentan sinérgicamente sus efectos si se aplican conjuntamente. Por ejemplo, si más tierras se asignan bajo la gestión forestal sostenible y con mejores técnicas para mejorar la productividad, las utilidades obtenidas de la silvicultura desalentarían la expansión de tierras de cultivo en el bosque. El solo reclasificar las tierras no basta; se requiere de eficiencia y buen manejo, y este último tendrá un impacto limitado si no hubiere más tierras disponibles. La sinergia permite una reducción adicional de emisiones de 6.5 Mt CO₂ eq. (sin incluir el efecto aislado de las políticas). En este contexto, la asignación de derechos de propiedad y la Gestión Forestal y Conservación de las Comunidades Nativas proporcionan una reducción acumulada de 35 Mt CO₂ eq., asignación de derechos de propiedad y gestión de Reservas Naturales alcanzan una reducción de 55 Mt CO₂ eq. Finalmente, todas las intervenciones y sinergia juntos ofrecen una reducción acumulada adicional de 5.6 Mt CO₂ eq.

El análisis integrado de AFOLU nos permite evaluar su producción e impactos en seguridad alimentaria y afrontar los posibles efectos no intencionados de las intervenciones. La reducción en la conversión de bosque primario a tierras de cultivo implica una caída en el área dedicada a cultivos. El arroz, los tubérculos, las leguminosas, las frutas y el maíz amarillo dependen mucho de la tierra de cultivo en el bosque tropical. Para el año 2050 habría 268,000 hectáreas cosechadas menos que las que resultan en un escenario BAU. Esto incluye la pérdida de 124,000 hectáreas de arroz, 44,000 de tubérculos, 8,000 de leguminosas y 2,000 de frutas. El maíz amarillo, producto básico en la dieta peruana, cae en 90,000 hectáreas. Si bien un aumento de importaciones no es necesariamente algo negativo, las consecuencias políticas de importar casi la mitad del consumo local de arroz pueden no ser aceptable para las autoridades ni la población. Por otro lado, para el caso de productos no transables como son los tubérculos, las leguminosas, y las frutas, la reducción de tierras preparadas para cultivos podría generar un incremento de precios. Dado que las leguminosas y los tubérculos son producidos por pequeños agricultores, mayormente en la región andina, el aumento en precio se convierte en un impacto positivo en sus ingresos ya que demanda un mayor nivel de producción.

Es importante reconocer que la agricultura no podrá seguir creciendo a expensas del bosque tropical amazónico. Es necesario buscar y fortalecer tanto las mejoras técnicas necesarias como el marco institucional para la vigilancia del medio ambiente y la intensificación de la agricultura. Para afrontar estos retos, proponemos dos intervenciones adicionales. Primero, la introducción de un Sistema Intensificado del Cultivo del Arroz (SICA) en la costa. El sistema SICA ofrece ventajas para el agricultor y el medio ambiente. El rendimiento por hectárea de SICA es más alto (12%) que el método tradicional, y su consumo de agua es menor, generando menos emisiones (-10%). La adopción de la tecnología SICA demanda recursos financieros y apoyo extensivo para los agricultores, y suficiente mano de obra. La segunda intervención es un esfuerzo por cambiar las preferencias del consumidor del arroz a tubérculos y leguminosas; el giro natural de sustituir los carbohidratos del arroz por los tubérculos y leguminosas es una tendencia prometedora en el largo plazo. Introducir la tecnología SICA y promover el consumo de tubérculos y leguminosas como sustitutos del arroz ayuda a mitigar la reducción de tierras para cultivos en el bosque tropical amazónico. Las tendencias de precio para los tubérculos y leguminosas favorecen a los pequeños agricultores; la calidad general de la dieta mejora ya que los tubérculos y las leguminosas proporcionan nutrientes al arroz, y; la demanda nacional se puede suplir localmente. En resumen, estas intervenciones permiten una reducción en emisiones agrícolas de 1.7 Mt CO₂ eq. comparado con el BAU.

La agenda de investigaciones futuras sobre AFOLU. Debido a la importancia de la forestación y la diversidad y heterogeneidad del bosque tropical de la Amazonia, es importante realizar una evaluación más precisa de las zonas con potencial para las plantaciones comerciales. Con base en información GIS (Sistema de Información Geográfica) se pueden localizar las extensiones de tierra con potencial para la forestación, basándose en el acceso a los mercados y la disponibilidad de mano de obra. De igual manera se tendrá que tomar en cuenta el microclima y las características del suelo para poder identificar las potenciales especies para forestación. Este análisis detallado es imprescindible para confirmar realmente el potencial que la reforestación comercial y el manejo sostenible de las concesiones forestales tienen para contribuir a la ruta DDP hacia cero emisiones.

La descarbonización del sector del transporte es clave y trae co-beneficios. El último inventario de GEI destaca que el sector energético representó el 25% de las emisiones brutas del país (4.46 Mt CO₂ eq), donde el 40% del sector fueron generadas por el sector transporte. Esto

Figura 35. Emisiones de LULUCF

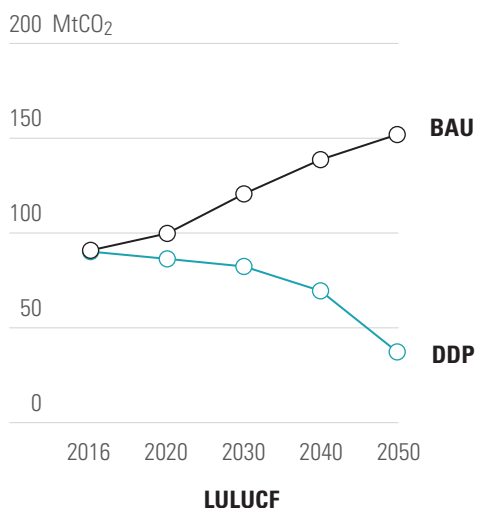
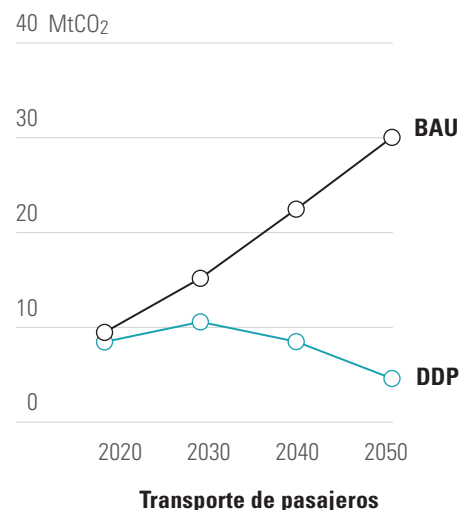


Figura 36. Emisiones de transporte de pasajeros



representa el segundo sector con mayores emisiones de GEI. Además, dado que el sector del transporte de pasajeros tiene una alta tasa de crecimiento de emisiones dentro del sector energético, es imperativo preparar estructuralmente su descarbonización profunda. Estas transformaciones estructurales contribuirán a mejorar la calidad de vida ya que aumentará el acceso hacia nuevas oportunidades, donde se mejorará el transporte al reducir el tiempo y la distancia de viaje, al disminuir la contaminación del aire local, al prevenir el tráfico vehicular y al incrementar la productividad laboral.

El sector transporte tiene muchos desafíos para su descarbonización. El total de kilómetros recorridos incrementará por el crecimiento de la población y los ingresos familiares. Si el combustible para el transporte permanece en fuentes fósiles, las emisiones sectoriales aumentarán. Además, la brecha en las infraestructuras y los servicios de transporte público contribuye a la adopción de automóviles privados y al incremento de tráfico vehicular. Según las encuestas nacionales, existe una preferencia por los automóviles privados en vez del transporte público debido a la sensación de inseguridad. Adicionalmente, la falta de estaciones cargas de combustibles alternativos limita la penetración de nuevas tecnologías vehicular, especialmente vehículos eléctricos. Finalmente, la presencia de servicios de transporte colectivo informal como microbuses, taxis colectivos y mototaxis aumenta la congestión del tráfico y tiene una menor eficiencia energética debido a la edad promedio de los vehículos. Por lo tanto, existe una clara necesidad de migrar hacia un sistema de transporte basado en energías más limpias como la energía eléctrica o fuentes

netas cero, así como cambios del transporte privado hacia transporte público que permitirán a las personas evitar la demanda de kilómetros innecesarios.

La descarbonización del sector se logrará con 4 paquetes de acciones. Para cumplir con el Acuerdo de París, el sector de transporte de pasajeros de Perú puede descarbonizarse con: (i) un aumento de los servicios de transporte público adecuados; (ii) una electrificación masiva de vehículos; (iii) un suministro más limpio de combustibles fósiles y electricidad; (iv) y un cambio de comportamiento en el desarrollo del sector transporte.

Perú ya ha dado algunos pasos. La introducción de servicios de autobuses de tránsito rápido (BRT) y de trenes urbanos ha reducido la brecha de infraestructura de transporte público. Si bien el aumento de estaciones de carga de gas natural ha permitido la demanda de vehículos nuevos con transporte más limpio. En 2020 se han iniciado en Lima programas piloto de vehículos eléctricos y bono de chatarreo, que reducen la informalidad y aumentan la eficiencia del combustible.

Mejora en la calidad de los servicios de transporte público. Una meta ambiciosa sería que al menos el 50% de la participación en el cambio modal del transporte se realice mediante el transporte público desde 2030. Se necesitan muchas inversiones en infraestructura y los BRT podrían desarrollarse más rápidamente. Por ejemplo, se podría introducir 12 nuevos sistemas BRT en cada período de 5 años hasta 2020-2030 comenzando por las principales ciudades del país: Piura, Arequipa, Chiclayo y Trujillo.

Luego, esto podría ampliarse a nivel nacional. El transporte público de Lima también podría mejorarse con el desarrollo de 4 nuevas líneas de Metro. Estimamos una inversión acumulada de \$ 5.5 mil millones para la construcción de infraestructura y el desarrollo de condiciones propicias para 2050. Más allá del desarrollo de nueva infraestructura de transporte público, la calidad del servicio debe mejorarse para crear un modelo de transporte público tan atractivo en comparación a los vehículos privados. Solo una combinación de desarrollo de infraestructura y la mejora en la calidad del servicio, que garanticen una mayor seguridad, mayor velocidad y menor costo que el automóvil privado, podrán cambiar las preferencias de transporte de la población. Estas acciones permitirán un transporte más económico, seguro y energéticamente eficiente, que tendrá una demanda creciente como se muestra en las primeras experiencias de BRT y tren Metropolitano.

Cambio en la tecnología vehicular: la electricidad como nuevo combustible.

Es posible electrificar el parque automotor; proyectamos un 85% de autos eléctricos y un 10% de autos híbridos para el 2050. Para otros los vehículos terrestres, apuntamos una electrificación al 70% de los autobuses y al 80% de las motos. Por ello, se desarrollarán programas piloto para autos y motos eléctricas en Lima, luego se escalará a las otras ciudades principales para el 2030, y posteriormente se desarrollará a nivel nacional. Estimamos una inversión acumulada necesaria de \$ 8,6 millones para el desarrollo de la política y los programas piloto al 2050. La penetración de la motorización eléctrica dependerá de la reducción de los costos fijos de este tipo de tecnologías. Además, diferirá en cada región

peruana debido a los ingresos del hogar y a la presencia de estaciones de carga eléctrica. Por lo tanto, se deben promover esquemas de incentivos nacionales, como un bono de chatarreo, para asegurar los precios competitivos de estas tecnologías con respecto a los vehículos que usan combustibles fósiles. Para los autobuses, las concesiones podrían ser una herramienta eficiente para solicitar la operación de vehículos con bajas emisiones de GEI, que pueden ser alimentados con electricidad o biocombustibles. Además, los antiguos taxis y microbuses colectivos existentes deben retirarse y esto podría apoyarse con bono de chatarreo que posee una alianza con una empresa para comprar vehículos con bajas emisiones de carbono. Al mismo tiempo, esto también podría ayudar a regular el actual contexto informal del transporte público. Tal como ya planeó ATU, el retiro de taxis colectivos y microbuses en Lima comenzará a partir de 2020 y se extenderá en el resto del país a partir de 2030.

Alternativa energética: Bioqueroseno y la descarbonización de la electricidad.

La introducción del bioqueroseno es necesaria en el transporte aéreo con los conocimientos tecnológicos actuales. Sin embargo, esto deberá importarse al principio debido a la falta de infraestructura de producción nacional. En 2050, el 30% del consumo de combustible de aviación debería ser bioqueroseno si queremos satisfacer la demanda de viajes aéreos y reducir las emisiones del transporte nacional. Por otro lado, la electrificación del transporte solo será eficiente si se descarboniza la producción de electricidad. Esto requiere eliminar los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) tanto como sea posible y desarrollar nuevas

Figura 37. Emisiones de transporte de pasajeros en función del tipo de energía

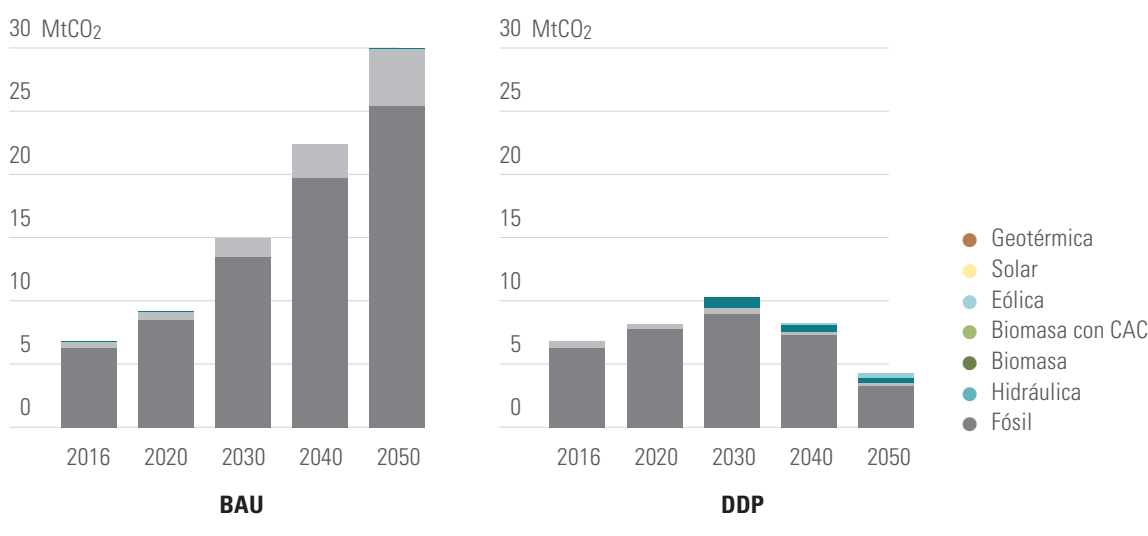
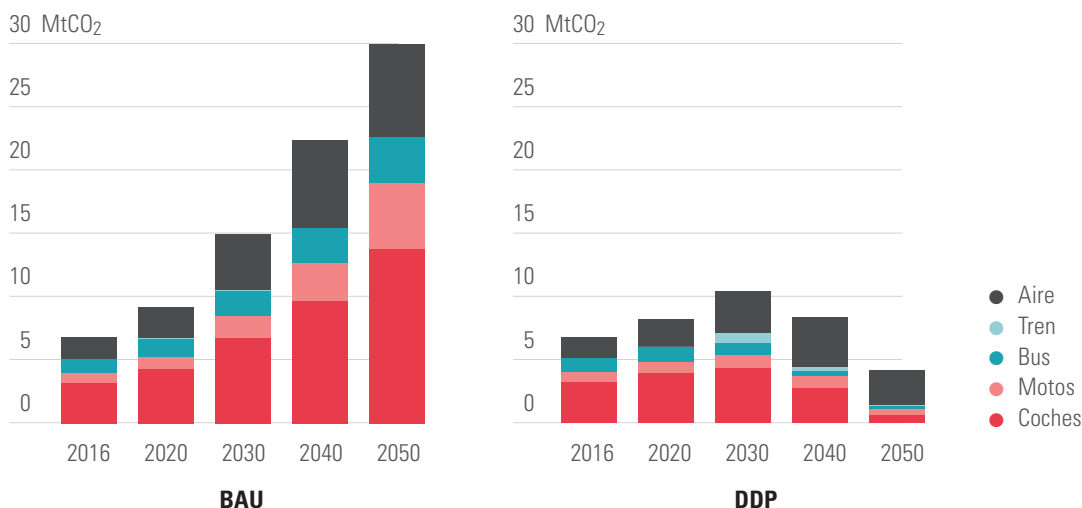


Figura 38. Emisiones de transporte de pasajeros en función del tipo de transporte



energías renovables como la eólica y la solar. Para el 2050, la producción renovable podría aumentar de 56% a más del 94% de la producción nacional de electricidad, lo cual permitirá mover el contenido de carbono de la electricidad de 209 gCO₂/kWh a 30 gCO₂/kWh. Esta producción más limpia podría lograrse con una mayor cantidad y frecuencia de subastas de concesiones nacionales. Estimamos una inversión acumulada de \$ 0.3 millones para la planificación y desarrollo de una estrategia de subastas de concesiones al 2050.

El teletrabajo como un cambio del juego. Con el teletrabajo se podría reducir el número de kilómetros recorridos por motivos laborales. Por ejemplo, dos días de teletrabajo que afecten al 50% de la población metropolitana y al 25% de las áreas no metropolitanas podrían reducir la demanda de kilómetros totales recorridos en un 20% en las áreas metropolitanas y en un 10% en las áreas no metropolitanas. Sin embargo, las comunicaciones de los beneficios de esta acción deben aplicarse para incrementar la cantidad de días y negocios que aplican el teletrabajo. Una opción podría ser la introducción de

políticas que permitan la digitalización de las actividades empresariales, que facilitaría el cambio de comportamiento laboral. Estimamos una inversión acumulada de \$ 0.2 millones para el desarrollo de políticas y actividades de socialización al 2050.

La ruta de descarbonización profunda permite la reducción de emisiones acumuladas por los sectores AFOLU y transporte de pasajeros en 2,125 Mt CO₂ eq. Esto representa una reducción de 40% comparado con el escenario BAU (como de costumbre). Para 2050, la reducción sumará -73%, pasando de 195.189 Mt CO₂ eq. a 51.920 Mt CO₂ eq. Pese al esfuerzo adicional que representa esta nueva ruta hacia la descarbonización, no se lograrán las cero emisiones netas para el 2050; esto nos demuestra que es imperativo promover un cambio transformacional genuino, con un abordaje más agresivo en sus políticas para poder alcanzar el objetivo para el 2050. Subraya la necesidad de apoyar la cooperación internacional para el diseño, evaluación e implementación de dichas políticas para lograr cero emisiones netas para el año 2050.

Los modelos

Se usó el modelo POLYSYS Perú para el análisis de AFOLU considerando la retroalimentación entre los distintos sectores, así como los impactos en el PIB de la silvicultura y la agricultura. Se empleó el modelo ASIF para el sector de transporte de pasajeros para medir el impacto del cambio

en demanda de transporte, consumo de combustible y uso de tecnología. Si tiene preguntas, favor de ponderse en contacto con los autores.

IDDRI

El Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI) es un instituto de investigación independiente sin ánimo de lucro sito en París. Su objetivo es identificar las condiciones y proponer las herramientas para hacer que el desarrollo sostenible se convierta en un tema prioritario de las relaciones internacionales y las políticas públicas y privadas. IDDRI es también una plataforma de diálogo multisectorial y apoya a las distintas partes de los debates de gobernanza mundial en los temas más destacados de interés común, como las acciones para mitigar el cambio climático, proteger la biodiversidad, fortalecer la seguridad alimentaria y gestionar la urbanización. El instituto también participa en el trabajo de construir trayectorias de desarrollo compatibles con las prioridades nacionales y los objetivos de desarrollo sostenible.

www.iddri.org



El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) es la mayor fuente de financiación del desarrollo en América Latina y el Caribe. Creado en 1959, el BID apoya el desarrollo económico y social de América Latina y el Caribe y su integración regional haciendo préstamos a los Gobiernos y las agencias gubernamentales, lo que incluye empresas estatales.

www.iadb.org



El grupo de la Agence Française de Développement (AFD) financia, apoya y acelera la transición hacia un mundo más justo y sostenible. Centrándose en el clima, la biodiversidad, la paz, la educación, la urbanización del territorio, la salud y la gobernanza, nuestros equipos llevan a efecto más de 4000 proyectos en los departamentos y territorios franceses de ultramar y otros 115 países. De esta forma contribuimos al compromiso de Francia y la ciudadanía francesa con el apoyo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

www.afd.fr



La Plataforma Rutas 2050 es una iniciativa multisectorial presentada en la 22ª Conferencia de las partes de la Convención marco de la ONU sobre el cambio climático (COP 22) por las «campeonas climáticas» de alto nivel Laurence Tubiana y Hakima El Haite para apoyar a los países que buscan desarrollar a largo plazo rutas de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero, resilientes al cambio climático y sostenibles. Diseñada como un espacio colectivo para la resolución de problemas, la plataforma también construirá una constelación más amplia de ciudades, estados y empresas comprometidas con una planificación a largo plazo de bajas emisiones, ayudando así en la implementación de las estrategias nacionales.

2050pathways.org