



COMUNIDAD
**Climática
Mexicana**
Acelerando la acción con
conocimientos y experiencias
de gobiernos subnacionales



Foto: Unsplash, Johannes Plenio.

¿CÓMO ESTABLECER METAS CLIMÁTICAS AMBICIOSAS DESDE LOS GOBIERNOS SUBNACIONALES?

Entendiendo los enfoques y avances para el desarrollo
de rutas de descarbonización en México

Título: ¿Cómo establecer metas climáticas ambiciosas desde los gobiernos subnacionales? Entendiendo los enfoques y avances para el desarrollo de rutas de descarbonización en México

Autores

Andrea Zafra, ICM

Lía Ferreira, ICM

Gabriela Alarcón, ICM

Revisores

Andrés Flores, WRI México

Avelina Ruiz, WRI México

Saúl Pereyra, WRI México

Rodrigo Narváez, Climate Analytics

Dennis Gastélum, Instituto Fraunhofer

Rebeca Salazar, Mujer y Medio Ambiente

Balbina Hernández, Mujer y Medio Ambiente

Jorge Villarreal, ICM

Danae Azuara, ICM

José Morales, ICM

Mariano Birlain, ICM

Agradecimientos

La Iniciativa Climática de México agradece ampliamente el financiamiento de México-UK PACT para el desarrollo de esta publicación. Asimismo, reconoce y agradece la retroalimentación y revisión a todas las organizaciones expertas que participaron en este proceso (Iniciativa Climática de México, WRI México, Climate Analytics, Instituto Fraunhofer, Mujer y Medio Ambiente). Por último, agradecemos las contribuciones de Karina Hernández y Lorena Graf a la publicación.

Diseño

CERCA DISEÑO

Forma de citar

ICM (2022). *¿Cómo establecer metas climáticas ambiciosas desde los gobiernos subnacionales? Entendiendo los enfoques y avances para el desarrollo de rutas de descarbonización en México*. Ciudad de México: Iniciativa Climática de México.



WRI MEXICO



El presente documento fue realizado por la Iniciativa Climática de México con financiamiento de México-UK PACT, y en apoyo a la Comunidad Climática Mexicana, la cual constituye una iniciativa de la Mesa Directiva de la Asociación Nacional de Autoridades Ambientales (ANAAE), la Iniciativa Climática de México (ICM) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI México por sus siglas en inglés).

Este documento no representa la visión específica de México-UK PACT ni de las demás organización aliadas, sino que es el resultado de una revisión informativa sobre rutas de descarbonización dirigido a gobiernos subnacionales en México.

ÍNDICE

Abreviaturas	5
Prefacio	8
Introducción	9
01 Marco conceptual sobre el desarrollo de rutas de descarbonización a escala global	12
Modelación de escenarios climáticos: trayectorias socioeconómicas compartidas del IPCC	13
Tipos de modelos para la elaboración de rutas de descarbonización	15
Categorías de escenarios y enfoques técnicos para la definición de metas de descarbonización	17
02 Consideraciones sobre la modelación de rutas de descarbonización sectoriales en el ámbito global	22
Energía: electricidad, transporte, industria y edificios	24
Agropecuario, forestal y otros usos de la tierra	28
Residuos	32
03 Revisión de herramientas de evaluación y casos de rutas de descarbonización a nivel global	34
Herramientas para evaluar la ambición de las metas de mitigación y políticas climáticas de los países	35
Iniciativas internacionales y regionales para la elaboración de rutas de descarbonización	40
Casos internacionales en el desarrollo de rutas de descarbonización en el ámbito nacional	42



	Casos internacionales en el desarrollo de rutas de descarbonización a nivel subnacional	45
04	Revisión de rutas de descarbonización para México a escala nacional y subnacional	48
	Rutas de descarbonización a nivel nacional	49
	Rutas de descarbonización a nivel subnacional	58
	Ciudad de México: Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050	61
	Yucatán y Jalisco: Rutas de descarbonización y presupuesto de carbono para el sector eléctrico	67
	Quintana Roo y Querétaro: Trayectorias de descarbonización	73
	Evaluación sobre los enfoques técnicos utilizados para el desarrollo de rutas de descarbonización a nivel subnacional en México	78
05	Evaluación y discusión sobre las metodologías y enfoques utilizados para la elaboración de rutas de descarbonización subnacionales en México	81
	Etapas y requerimientos para el diseño de rutas de descarbonización	84
	Discusión sobre los enfoques técnicos y las metodologías para la elaboración de escenarios de descarbonización	87
06	Hacia la implementación: condiciones habilitadoras y recomendaciones	89
	Referencias	93



ABREVIATURAS

AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AFD	Agencia Francesa de Desarrollo
AFOLU	Agriculture, Forestry and other Land Use/Agropecuaria, Forestal y otros Usos de la Tierra
ANAAE	Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales
ASAP	Action Selection and Prioritisation/Selección y Priorización de Acciones
ASD	Adjustable-Speed Drives
BAU	Business-as-usual/Los Negocios como Siempre
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage/Bioenergía con Captura y Almacenamiento de Carbono
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAT	Climate Action Tracker
CDP	Carbon Disclosure Project
CCS	Carbon Capture and Storage/Captura y Almacenamiento de Carbono
CDMX	Ciudad de México
CGE	Computable General Equilibrium/Equilibrio General Computable
CIAC	Comisión Intersecretarial para la Acción Climática
CONECC	Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático
DCIAC	Diagnóstico de Capacidades Institucionales para la Acción Climática
DDDP	Deep Decarbonization Pathways Project/Proyecto Trayectorias de Descarbonización Profunda



DDPLAC	Deep Decarbonization Pathways in Latin America and the Caribbean Project/Proyecto Trayectorias de Descarbonización Profunda en América Latina y el Caribe
ELAC	Estrategia Local de Acción Climática
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
EP	Energy PATHWAYS
EPS	Energy Policy Simulator/ Simulador de Política Energética
GCAM	Global Change Analysis Model/ Modelo de Análisis de Cambio Global
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GyCEI	Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IAM	Integrated Assessment Model/Modelo de Evaluación Integrada
IDDR	Institut du Développement Durable et des Relations Internationales/ Instituto de Desarrollo Sostenible y Relaciones Internacionales
IEA	International Energy Agency/Agencia Internacional de Energía
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services/ Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change/Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LMDI	Logarithmic Mean Divisia Index/Índice de Divisa Media Logarítmica
MACC	Marginal Abatement Cost Curves/Curvas de Costos Marginales de Abatimiento
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
NDC	Nationally Determined Contributions/Contribuciones Nacionalmente Determinadas



ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PACCM	Programa de Acción Climática de la Ciudad de México
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PIB	Producto Interno Bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRODESEN	Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
RCP	Representative Concentration Pathway/Trayectorias de Concentración Representativas
REDD+	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation/ Reducción de las Emisiones de la Deforestación y la Degradación de Bosques
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SDSN	Sustainable Development Solutions Network/Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible
SEMADET	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (Jalisco)
SS-PACCM	Sistema de Seguimiento del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México
SEDEMA	Secretaría de Medio Ambiente (Ciudad de México)
SSP	Shared Socioeconomic Pathways/Trayectorias Socioeconómicas Compartidas
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change/ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
USAID	United States Agency for International Development/ Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
WRI	World Resources Institute/Instituto de Recursos Mundiales



PREFACIO

Nos encontramos en una era crítica para la humanidad y para el planeta. Las decisiones y acciones que tomemos desde ahora, y hasta 2030, determinarán qué tan cerca estaremos de cumplir con la meta del Acuerdo de París que busca limitar el incremento de la temperatura global muy por debajo de 2°C y proseguir los esfuerzos para limitarlo a menos de 1.5°C hacia finales del siglo XXI, en comparación con los niveles preindustriales. Los planes e inversiones que se destinan aún a sectores con una alta intensidad de carbono ponen en riesgo el cumplimiento de esta meta. Ahora es el momento de actuar para lograr economías bajas en carbono y resilientes.

Si bien las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC, por sus siglas en inglés) orientan el cumplimiento de las metas climáticas de cada país, es en el ámbito subnacional donde se llevan –y se llevarán– a cabo gran parte de las medidas de descarbonización. Los gobiernos subnacionales tienen a su cargo la promulgación de leyes, planes de desarrollo, programas sectoriales y políticas que se pueden alinear a metas de descarbonización ambiciosas. Para visualizar el comportamiento de las emisiones e identificar las medidas sectoriales necesarias, las rutas de descarbonización representan una herramienta de planeación muy útil.

Mediante estas rutas los gobiernos pueden identificar un catálogo de medidas que les permita alinearse a la meta de 1.5°C, al tiempo que identifican los recursos, capacidades, actores y sinergias necesarias para su implementación, así como los co-beneficios ambientales y sociales derivados de las mismas. Además, este instrumento de planeación climática provee de orientación a los arreglos institucionales, legales, regulatorios, financieros, presupuestales, culturales y educativos para que las medidas de descarbonización cuenten con las condiciones para su efectiva implementación. En este sentido, la elaboración de rutas de descarbonización a escala subnacional es fundamental para poder diseñar planes y programas de cambio climático ambiciosos que contribuyan a mejorar la calidad de vida de las y los ciudadanos.

Si queremos que México avance en sus compromisos climáticos internacionales, es indispensable contar con la participación de todos los actores de la sociedad y la economía, en donde los gobiernos subnacionales están asumiendo un rol cada vez más central para lograrlo. La posibilidad de limitar el aumento de la temperatura a 1.5°C se está acortando, pero con la participación de los 32 estados y el apoyo de la Comunidad Climática Mexicana esperamos mantener viva esta meta

Adrián Fernández Bremauntz
Director Ejecutivo
Iniciativa Climática de México



INTRODUCCIÓN

Rebasar el incremento de la temperatura media global de 2°C hacia fines del siglo XXI conducirá a impactos catastróficos por el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (sequías, olas de calor, huracanes, lluvias extremas, etcétera). Entre más se eleve la temperatura media del planeta, mayores serán los impactos de los desastres naturales.

Los eventos climáticos extremos afectan de manera significativa a los sistemas socioecológicos, ocasionando diversos problemas, como la pérdida de cobertura forestal por incendios; sequías extremas, con daños importantes en sistemas agroalimentarios; incremento del nivel del mar en zonas costeras; inundaciones en ciudades, con pérdidas y interrupciones en las actividades económicas; daños a la infraestructura urbana y turística, entre otros. Las comunidades y los grupos vulnerables son los más afectados por las consecuencias del cambio climático, que ponen en riesgo sus medios de subsistencia y, por tanto, la garantía de sus derechos humanos.

Con la finalidad de evitar que los impactos del cambio climático sean devastadores en las próximas décadas, es necesario alcanzar una reducción de 50% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) en 2030 —con respecto a las de 2010— y emisiones netas cero en 2050. Estas metas de reducción contribuirán a cumplir los objetivos de largo plazo del Acuerdo de París que buscan limitar el incremento de la temperatura media de la Tierra por debajo de los 2°C e, idealmente, a 1.5 °C para 2100, en comparación con la época preindustrial (año de referencia 1750).

El último informe de síntesis de las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC por sus siglas en inglés), que publicó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), menciona que, en el ámbito global, el cumplimiento de las NDC actuales dirigirá a una trayectoria en línea con un incremento de 2.7°C (UNFCCC, 2021). Esto representaría un incremento de 16% de las emisiones mundiales de GEI para 2030, en comparación con las de 2010. En resumen, los compromisos hechos hasta ahora se quedan cortos en cuanto a lo que requiere una trayectoria global de emisiones netas cero a 2050, incluyendo las declaraciones y los avances reportados en la Conferencia de las Partes (COP26) en Glasgow (CAT, 2021).

Lograr emisiones netas cero para 2050, en línea con la trayectoria de 1.5°C, requiere de un gran esfuerzo y acciones ambiciosas que representan un reto, especialmente dados los distintos contextos y capacidades de los países, regiones y gobiernos para llevar a cabo una transformación socioeconómica y tecnológica baja en carbono, resiliente, inclusiva y que garantice los derechos humanos.



Desde 2020 han aumentado las naciones que se han comprometido a alcanzar la neutralidad de carbono en 2050. Los compromisos adquiridos por estos países, en conjunto, representan un potencial de reducción de 70% de las emisiones globales de dióxido de carbono. Aunque éste es un gran paso, la mayoría de los compromisos aún no han sido respaldados por políticas y medidas de corto plazo (IEA, 2021). Cabe mencionar que la índole de los compromisos varía, ya que pueden ir plasmados en leyes o declaraciones políticas, por ejemplo.

Por eso, es fundamental que los objetivos de mitigación de largo aliento se vinculen con objetivos y políticas de corto plazo que sean medibles y alcanzables en todos los ámbitos de gobierno, para facilitar una transición coordinada entre los distintos actores y áreas de incidencia. Las estrategias nacionales alineadas a los objetivos de largo plazo del Acuerdo de París proveen orientación para las transiciones nacionales, en las cuales se debe promover una coordinación entre los distintos niveles de gobierno que conforman un país.

En este sentido, las acciones subnacionales son clave para la reducción de emisiones de GEI y pueden contribuir a la trayectoria mundial en línea con el objetivo de 1.5°C, ya que gran parte de las medidas necesarias para combatir el cambio climático se implementan a escala local. Los gobiernos subnacionales son partícipes en el desarrollo e implementación de leyes, políticas, estrategias, programas y mecanismos fiscales en áreas o sectores relevantes para la reducción de este tipo de emisiones, además de que tienen el potencial de generar co-beneficios sociales y ambientales.

Para atender esto, los escenarios y las rutas de descarbonización coadyuvan a la toma de decisiones sobre cómo se comportan las emisiones de GEI bajo ciertos supuestos relativos al potencial impacto del cambio de comportamiento socioeconómico, la penetración de cierta tecnología o la aplicación de una política específica que contribuya a alcanzar metas de mitigación a mediano y largo plazos. Además, estos instrumentos son el punto de partida para visualizar las acciones necesarias y la coordinación requerida para cumplir con las metas del Acuerdo de París entre actores del gobierno, la sociedad civil, el sector privado y la academia, así como entre los distintos sectores (New Climate Institute y ECN, 2019; PBL, 2019).

En este contexto, las rutas de descarbonización son una herramienta clave para identificar los sectores con mayor potencial de reducción de emisiones, priorizar las medidas de mitigación, evaluar el potencial de disminución acorde con diferentes escenarios, e identificar los factores habilitadores para la implementación de las rutas. Al desarrollar rutas de descarbonización a nivel subnacional, se pueden atender problemáticas o circunstancias específicas para cada contexto y abordarlas con las medidas más pertinentes.

El presente documento tiene por objetivo introducir de manera conceptual las rutas de descarbonización y sus elementos principales, así como mostrar casos en el ámbito internacional, nacional y subnacional, identificando sus enfoques técnicos para orientar a los tomadores de decisiones subnacionales en el desarrollo de sus propias rutas. Se incluye, además, los



antecedentes de las rutas de descarbonización en México, así como el detalle del proceso y los elementos principales de los estudios de dichas rutas en el ámbito subnacional.

El capítulo 1 ofrece un marco teórico con las particularidades de la modelación de rutas de descarbonización a escala global e introduce conceptos y enfoques técnicos para el establecimiento de metas de descarbonización y el desarrollo de sus escenarios.

El capítulo 2 profundiza en los modelos y las particularidades para el desarrollo de rutas de descarbonización por sector, así como sus medidas y opciones de mitigación.

Por su parte, el capítulo 3 incluye las herramientas para la evaluación de la ambición de las metas y las políticas climáticas en el ámbito mundial, y muestra casos internacionales de rutas de descarbonización a nivel nacional y subnacional.

Posteriormente, el capítulo 4 presenta los antecedentes y los estudios más recientes sobre rutas de descarbonización en México. Asimismo, profundiza y compara las metodologías y los enfoques técnicos utilizados en el desarrollo de dichas rutas en el ámbito subnacional en el país.

El capítulo 5 identifica las etapas y los elementos para el desarrollo de rutas de descarbonización y presenta una discusión acerca de los enfoques técnicos para el establecimiento de metas en este sentido.

A continuación, el capítulo 6 sistematiza las condiciones habilitadoras identificadas en los casos presentados a lo largo del documento y emite recomendaciones.

Finalmente, el capítulo 7 busca incorporar las lecciones aprendidas de la implementación del Acelerador de Rutas de Descarbonización dirigido a los gobiernos estatales en México con el apoyo de México-UK PACT y en el marco de la Comunidad Climática Mexicana y de la Comunidad Climática Mexicana.



01

Marco conceptual sobre el

DESARROLLO DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

a escala global



MODELACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS: TRAYECTORIAS SOCIOECONÓMICAS COMPARTIDAS DEL IPCC

Las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) son escenarios de transformaciones socioeconómicas globales proyectadas hasta 2100. Dichas trayectorias fueron desarrolladas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para estimar escenarios de emisiones de GEI en función no sólo de las distintas políticas climáticas, sino de posibles cambios demográficos, sociales, tecnológicos y económicos. En la actualidad, las SSP se utilizan como un insumo esencial para los modelos climáticos más recientes que ha desarrollado el IPCC.

Las trayectorias SSP incluyen cinco escenarios y narrativas en función del nivel de penetración de tecnologías limpias, consumo de energía de acuerdo con el estilo de vida, dependencia de combustibles fósiles, crecimiento económico, desarrollo humano, degradación ambiental y escenarios políticos, entre otros. Una ventaja de dichos escenarios es que muestran una visión más amplia de lo que podría ocurrir en el mundo frente a distintos niveles de incremento en la temperatura, incluyendo la facilidad o dificultad para que el planeta pueda continuar con sus esfuerzos de mitigación y adaptación al cambio climático. Las narrativas para cada escenario SSP se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Narrativas de las trayectorias socioeconómicas compartidas

ESCENARIO	NARRATIVA
SSP1	Escenario de crecimiento sustentable caracterizado por la equidad social. Estas condiciones favorecen la reducción de emisiones y los niveles de vulnerabilidad al cambio climático.
SSP2	Considera las tendencias de crecimiento socioeconómico de acuerdo con patrones históricos e incluye cierto avance en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS); no obstante, la sociedad aún presenta cierto nivel de desigualdad. Se le conoce como “mitad del camino”.
SSP3	En este escenario, el mundo se encuentra “fragmentado” en regiones de extrema pobreza y algunos países con riqueza moderada, y no existe la cooperación entre naciones.
SSP4	Escenario en donde predomina la desigualdad social. Por un lado, una pequeña proporción del mundo es responsable de las emisiones de GEI y, por el otro, la proporción de la sociedad más pobre es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático.
SSP5	En este escenario, la tendencia de crecimiento económico continúa y no disminuye ni la intensidad, ni la demanda energética basada en combustibles fósiles.

Fuente: Elaboración propia con base en O'Neill *et al.* (2017).



La figura 1 muestra las cinco SSP de acuerdo con su nivel de retos en la transición socioeconómica requerida para atender el cambio climático mediante soluciones de mitigación o adaptación, así como el nivel de equidad social al que se llegaría de acuerdo con cada una de las narrativas.

Figura 1. Trayectorias socioeconómicas compartidas del IPCC



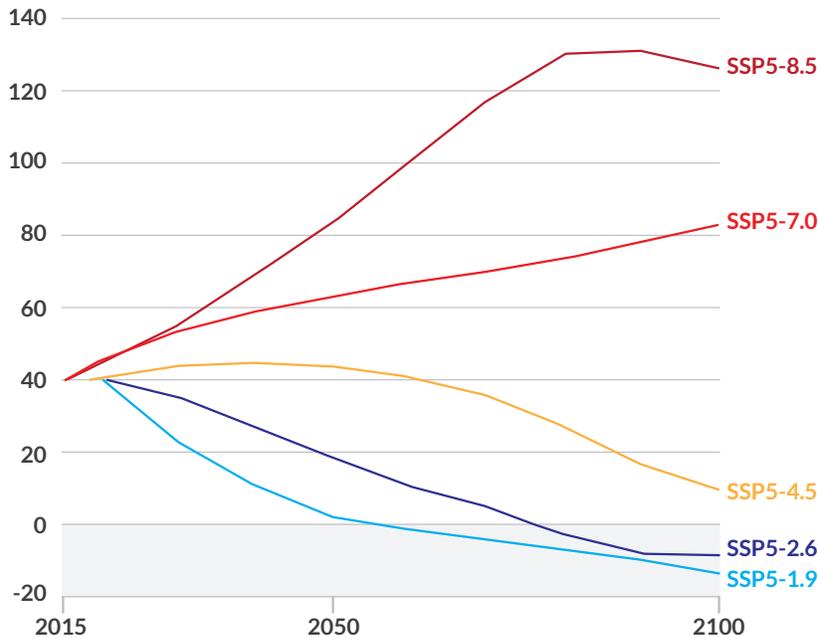
Fuente: O'Neill *et al.* (2017).

La SSP1, por ejemplo, incluye medidas efectivas tanto de adaptación como de mitigación, por lo que representa un menor reto climático y se caracteriza por la equidad social, mientras que la SSP2 es un punto medio que implica retos climáticos intermedios, con cierto nivel de desigualdad social. Las trayectorias SSP3, SSP4 y SSP5 implican medidas de adaptación y mitigación menos efectivas, en las que predomina la desigualdad social. Estas tres trayectorias conllevan un mayor incremento de la temperatura media del planeta, como se muestra en la figura 2, y por lo tanto, mayores retos climáticos para la sociedad y la economía mundiales.

Las trayectorias socioeconómicas compartidas permiten visualizar qué acciones y políticas llevarían a un determinado incremento de temperatura del planeta, como se muestra en la figura 2. En el reporte especial del IPCC, *Calentamiento Global de 1.5°C* (IPCC, 2018), se utilizaron estas trayectorias para identificar qué escenarios y medidas son necesarios para cumplir con los objetivos de largo plazo del Acuerdo de París.



Figura 2. Emisiones de CO₂ de las trayectorias SSP y su temperatura media global asociada



Nota: Emisiones de CO₂ en gigatoneladas (GtCO₂) y su temperatura asociada en °C (el incremento de la temperatura media terrestre en °C a 2100 corresponde a los números 8.5, 7, 4.5, 2.6 y 1.9, para cada escenario SSP).

Fuente: IPCC (2021).

TIPOS DE MODELOS PARA LA ELABORACIÓN DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

Existen distintas maneras de modelar escenarios de descarbonización, los cuales van desde perspectivas descendentes o *top-down*, que pueden tomar como datos de entrada las trayectorias SSP, hasta enfoques ascendentes o *bottom-up*, con más detalles tecnológicos o territoriales. La selección del modelo y enfoque depende del objetivo y nivel de modelación, así como de los datos disponibles y las capacidades para llevar a cabo el ejercicio. En la figura 3 se muestra un diagrama con los tipos de modelos y sus principales enfoques y características.



Figura 3. Comparación de los distintos tipos de modelos para la elaboración de trayectorias de descarbonización y sus enfoques



Fuente: Traducido de New Climate Institute y ECN (2019).

Los modelos descendentes o *top-down*, como los de evaluación integrada (IAM, por sus siglas en inglés) y los de equilibrio general computable (CGE, por sus siglas en inglés), abarcan una visión más amplia de la economía y pueden simular las interacciones entre los distintos sectores económicos para comprender mejor el impacto en las variables macroeconómicas, por ejemplo, en el producto interno bruto (PIB), el empleo, el gasto público, etcétera. En cambio, los modelos ascendentes o *bottom-up* se centran en las tecnologías, por lo que suelen incluir un nivel de detalle más profundo por sector, tecnología o política. Por su parte, los modelos híbridos intentan combinar ambos enfoques, por lo que incluyen detalles tecnológicos y exploran también los efectos macroeconómicos (New Climate Institute & ECN, 2019).

Asimismo, los modelos pueden contener distintas funciones que les permiten explorar los impactos de los escenarios de descarbonización. Uno de los análisis más utilizados es el de costo-efectividad, mediante el cual se modela la vía tecnológica más barata que coincida con la demanda requerida de energía o recursos. Además, existen enfoques que utilizan como base los potenciales de reducción de GEI, parámetros técnicos o geográficos, o una combinación de éstos para estimar los impactos de un escenario de descarbonización frente a uno tendencial.

Cabe destacar que todos los modelos requieren gran número de supuestos sobre los datos de entrada. Dichos supuestos influyen en gran medida en los resultados del ejercicio de modelación y, por lo tanto, deben tratarse con cuidado. Cualquiera que sea el nivel de detalle, es primordial ser transparente en el ejercicio de modelación acerca de las fuentes de datos, los supuestos y otros parámetros, con el fin de entender, comparar, replicar y utilizar los resultados en los procesos de toma de decisiones (New Climate Institute & ECN, 2019).



Si bien los modelos no pueden captar toda la complejidad de una transición a una economía baja en emisiones, que incluye aspectos técnicos, económicos, de comportamiento social y político, e interacciones entre sectores, sí pueden orientar la toma de decisiones en cuanto a las opciones tecnológicas, posibles políticas y el involucramiento de actores requerido para impulsar dicha transición.

La siguiente sección introduce conceptos clave para la definición de los escenarios de descarbonización de acuerdo con el tipo de políticas que evalúan y sus niveles de ambición, así como los enfoques técnicos más utilizados para el establecimiento de metas de mitigación.

CATEGORÍAS DE ESCENARIOS Y ENFOQUES TÉCNICOS PARA LA DEFINICIÓN DE METAS DE DESCARBONIZACIÓN

Como se mencionó anteriormente, las rutas de descarbonización son una herramienta clave para identificar los sectores con mayor potencial de reducción de emisiones; establecer metas de mitigación; priorizar las medidas y evaluar su potencial acorde a diferentes escenarios, e identificar los recursos, los actores y los factores habilitadores para la implementación de las rutas y el cumplimiento de las metas.

En este sentido, las rutas de descarbonización se pueden sustentar en una línea base y en metas de mitigación (en porcentaje o una meta de reducción, como emisiones netas cero), pero también se pueden vincular al límite de incremento de la temperatura media global (1.5°C o 2°C).

Una forma de hacer un vínculo directo con un límite de incremento de temperatura es mediante un presupuesto de carbono. El siguiente cuadro presenta una comparación de los principales enfoques para el establecimiento de metas de mitigación y el desarrollo de escenarios de descarbonización.



Cuadro 2. Comparación de enfoques técnicos utilizados para el establecimiento de metas de mitigación y el desarrollo de escenarios de descarbonización

	LÍNEA BASE	PRESUPUESTO DE CARBONO	EMISIONES NETAS CERO
Definición	Escenarios de emisiones de GEI que se construyen a partir de la proyección de variables históricas sobre la producción y el consumo de energía, recursos naturales y uso de suelo de los distintos sectores (<i>forecasting</i>).	Escenario que se alinea a la cantidad acumulada de emisiones de GEI permitidas a lo largo de un periodo para limitar la temperatura media global ^A (en este caso, por debajo de los 2°C e, idealmente, 1.5°C a 2100).	Escenario donde se establece una meta de cero emisiones netas (que debería ser alrededor de 2050 para limitar la temperatura media global a 1.5°C); a partir de la meta y el año se establecen emisiones posibles hacia el presente (<i>backcasting</i>). ^B
Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> • Es el enfoque que más se ha socializado a lo largo del tiempo, lo que hace que sea más entendible para los actores clave en términos de mitigación. • Existen múltiples y variadas metodologías para realizar las proyecciones de cada escenario y calcular la mitigación final, lo que lo vuelve accesible en comparación con otras metodologías. • El escenario tendencial sirve como punto de referencia para saber cuánto más se incrementarían las emisiones de seguir con las políticas actuales. • Las metas de mitigación se pueden alinear a la NDC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es una referencia basada en la ciencia para la política de cambio climático que permite evaluar y monitorear su cumplimiento bajo criterios de mayor ambición, ya que vincula los objetivos de mitigación al compromiso de mantener la temperatura media global en 1.5°C. • Bajo este enfoque se pueden definir metas cuantitativas de reducción de emisiones a escala nacional, subnacional y sectorial en línea con el presupuesto de carbono mundial. • Facilita el monitoreo y la evaluación de la mitigación y otros indicadores propuestos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Está relacionado de forma global con el compromiso de mantener el incremento de la temperatura media de la Tierra por debajo de 1.5°C. • Es una meta fácil y clara de entender para los diversos actores, como el gobierno, las empresas y los ciudadanos. • No requiere de una asignación de emisiones porque se asume que todos los países deben comprometerse a alcanzar emisiones netas cero alrededor de 2050 o antes. • Se puede combinar fácilmente con otros enfoques técnicos.



	LÍNEA BASE	PRESUPUESTO DE CARBONO	EMISIONES NETAS CERO
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Las proyecciones están constantemente sujetas a ajustes según las emisiones reales de cada año. • Los escenarios de descarbonización que se construyen a partir de una línea base no están alineados a un límite de temperatura y, por lo tanto, no se sabe con certeza su nivel real de contribución a las metas mundiales. • Al utilizarse varios tipos de metodologías, supuestos y alcances, los escenarios tienden a tener un grado significativo de incertidumbre. 	<p>Es un concepto que aún genera resistencia por falta de socialización, en comparación con el enfoque de línea base.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El punto de partida de la modelación se encuentra determinada por las proyecciones del IPCC y los modelos IAM, lo cual arrastra todas las incertidumbres de esas estimaciones a los distintos ámbitos de gobierno. • Sigue habiendo discusiones con respecto a la forma más justa de asignación de las emisiones a cada país, por lo que el enfoque de distribución afectará el diseño de acciones tanto en el ámbito nacional como subnacional, en caso de que haya cambios en la forma de asignar el presupuesto. • Independientemente del enfoque de asignación, existen emisiones de procesos económicos que son complejos de asignar bajo esta metodología (por ejemplo, importación y exportación de energía o la exportación de residuos para su tratamiento en otro estado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Es muy probable que si se establece una meta a 2050 sin tener claras las necesidades de apoyo financiero, desarrollo de tecnologías y un clima político y social que lo permita en la actualidad, no será factible alcanzarla. Para ello, en la mayoría de los casos se necesitará primero realizar una proyección usando la metodología de línea base y entender cuándo sería posible llegar a la meta de emisiones netas cero. • Al tener sólo una meta final, la ruta entre el año inicial y final puede no ser tan definida, por lo que habrá que buscar un equilibrio entre todos los años, evitando la caída abrupta de emisiones de un año a otro. • El enfoque de emisiones netas cero considera las absorciones de carbono como un pilar relevante para alcanzar la neutralidad; sin embargo, las metodologías para el cálculo de absorciones siguen en desarrollo continuo y puede tener un mayor nivel de incertidumbre que en otros sectores.

^A De acuerdo con el IPCC, para limitar el calentamiento causado por las emisiones de GEI por debajo de un límite de temperatura determinado, las emisiones acumuladas de todas las fuentes antropogénicas tienen que ser restringidas a una cantidad específica (Rogelj *et al.*, 2015).

^B El proceso de trazar una trayectoria de emisiones partiendo de objetivos de descarbonización futuros hacia el presente, con las condiciones actuales, asegura la compatibilidad de las trayectorias con los objetivos de largo plazo establecidos en el Acuerdo de París.

Fuente: Elaboración propia con información de GIZ México e Iniciativa Climática de México (2019) y GRESB (2019).



En el caso de la meta neta cero para mantenerse en la trayectoria de 1.5°C, como se mencionó anteriormente, implica una reducción de 50% de las emisiones de CO₂ para 2030 y cumplir con las emisiones netas cero hacia 2050, lo que debería incluir a todos los GEI. En este sentido, hay que considerar que existen algunos de estos gases que son de vida corta, como el metano (CH₄), pero que tiene un importante potencial de calentamiento en la atmósfera, en comparación con el CO₂ (Iniciativa Global de Metano, 2020). Por otro lado, si bien la alineación al 1.5°C implica que todos los países alcancen emisiones netas cero para 2050, habrá que tomar en cuenta la responsabilidad de acuerdo con las emisiones históricas de cada país, emisiones per cápita, al igual que la capacidad de cada nación para implementar acciones y políticas lo suficientemente ambiciosas (WRI, 2022).

Las rutas de descarbonización son instrumentos útiles para identificar las medidas y políticas, tanto de corto como largo plazo, necesarias para el cumplimiento de metas de mitigación. En este sentido, se requiere modelar escenarios para visualizar cómo se comportarán las emisiones a lo largo del tiempo, bajo ciertas políticas. A continuación, se presenta una categorización de escenarios de acuerdo con las políticas y nivel de ambición que asumen.

- **Escenarios tendenciales:** Exploran la continuación de las tendencias históricas, en las que no se incluyen nuevas políticas relacionadas con el clima o la energía. Se les puede referir como *business-as-usual* (BAU), escenarios de referencia o línea base.
- **Escenarios de política:** Estudian los impactos de políticas públicas específicas o las contribuciones nacionalmente determinadas. En cada país, las NDC contienen los esfuerzos para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los impactos del cambio climático. Estos escenarios conducen a un menor cambio en comparación con los escenarios de referencia, pero no lo reducen en la misma medida que los escenarios de objetivo de 2°C. En ocasiones, se les refiere por su nombre en inglés como escenarios *policy-based*.
- **Escenarios ambiciosos:** Describen una transición económica coherente con una trayectoria de emisiones que limitará el aumento de la temperatura global por debajo de 2°C o 1.5°C, en línea con los objetivos de largo plazo del Acuerdo de París. Pueden también basarse en la meta de emisiones netas cero para 2050 o en un presupuesto de carbono.

Independientemente de la selección de los enfoques técnicos para el establecimiento de metas de mitigación y las políticas o medidas consideradas dentro de cada escenario, el momento en que se lleven a cabo impactará de manera significativa en la selección de tecnologías y políticas tanto en el corto como en el largo plazo. Para permanecer en línea con una trayectoria de 1.5°C existen dos principales tendencias, de acuerdo con la intensidad y velocidad con la que se apliquen las medidas de reducción de emisiones.



Por un lado, una lenta reducción de emisiones en el corto plazo requerirá de una rápida reducción en la segunda mitad del siglo, acompañada de una alta dependencia en tecnologías de captura de CO₂ de la atmósfera para compensar el exceso de emisiones que se generará en la primera mitad del siglo. El retraso en la acción o el no actuar en la descarbonización conlleva altos costos económicos (DDPLAC Consortium, 2020).

Por otro lado, una reducción significativa e inmediata de emisiones en el corto plazo, por ejemplo, basada en una rápida transición de combustibles fósiles a fuentes de energía bajas en carbono, permitiría que no fuera necesario lograr una reducción de emisiones de largo plazo que sea abrupta ni que dependa tanto de tecnologías de captura de dióxido de carbono. Por lo tanto, el costo y esfuerzo serían mucho menores (PBL, 2019).

Finalmente, cabe destacar que para elaborar rutas de descarbonización ambiciosas es relevante identificar las oportunidades de disminución de emisiones por sector, así como sus dependencias e implicaciones intersectoriales. Por lo tanto, se deben desarrollar rutas a escala sectorial para incluir el mayor detalle posible sobre las estrategias, las acciones y las necesidades de coordinación intersectorial para alcanzar las metas de mitigación planteadas. En la siguiente sección se describen los principales elementos que deben considerarse por grupo o tipo de sector para la modelación de rutas de descarbonización, así como algunas de las medidas de mitigación más relevantes en el ámbito internacional.



02

Consideraciones sobre la

MODELACIÓN DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

sectoriales en el ámbito global



Para limitar el incremento de la temperatura media del planeta por debajo de los 2°C, prosiguiendo los esfuerzos para limitarla a 1.5°C —como lo indican los objetivos a largo plazo del Acuerdo de París—, deben considerarse las distintas medidas sectoriales para la reducción de emisiones de GEI, así como las opciones de remoción de dióxido de carbono. Por un lado, la tecnología necesaria para atender las medidas de mitigación en los distintos sectores de la economía está disponible y en algunos casos es cada vez más accesible (por ejemplo, energía renovable). Por otro lado, el momento en el que se alcance el pico de emisiones, es decir, cuando las emisiones lleguen a su punto máximo, determinará la necesidad de tecnologías y soluciones para la remoción del CO₂ remanente en la atmósfera. Entre más tarde se alcance el pico de emisiones, la dependencia en la remoción de CO₂ será mayor, y mayor será el reto para alcanzar emisiones cero (IPCC, 2018).

Para la remoción de dióxido de carbono de la atmósfera, se cuenta con tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ (CCS, por sus siglas en inglés) que se basan en un proceso secundario de captura, transportación y almacenamiento de CO₂ proveniente de la producción eléctrica a base de combustibles fósiles o algunos procesos industriales. En ciertos casos, puede ser reutilizado en algunos procesos industriales en vez de ser almacenado en depósitos geológicos. Además, es posible combinar esta opción con tecnologías de generación de energía a partir de biomasa para reducir la dependencia de combustibles fósiles (BECCS, por sus siglas en inglés). Es importante considerar que las tecnologías de CCS aún se encuentran en desarrollo, por lo que el intercambio de experiencias y esquemas de financiamiento en el ámbito internacional serán clave para su penetración y comercialización (WRI, 2022).

Asimismo, la absorción natural de CO₂ en bosques, suelos y océanos debe ser asegurada y potenciada. Para el caso de los bosques, la conservación, reforestación y prácticas agroforestales sostenibles representan soluciones concretas. En los ecosistemas terrestres, la limitante dentro de las distintas opciones de absorción de CO₂ —ya sean tecnológicas (BECCS) o basadas en la naturaleza— es la superficie y la biomasa disponible que debe ser balanceada entre absorción de dióxido de carbono, producción de biomasa para uso energético y producción agropecuaria para satisfacer las necesidades alimentarias, entre otras.

Aunque las opciones de absorción y remoción de CO₂ presentan un potencial importante de descarbonización, para el propósito del presente documento únicamente profundizaremos en las rutas de descarbonización disponibles para el sector agropecuario, forestal y otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en inglés), que consideran tanto mitigación de emisiones desde las actividades agropecuarias y el uso de suelo, así como la absorción de CO₂ mediante la conservación y restauración de los ecosistemas. De acuerdo con el IPCC (2022), las opciones dentro de este sector, además de tener un potencial importante de mitigación, pueden traer co-beneficios sociales y ambientales, al tiempo que ayudan a evitar riesgos ante los impactos del cambio climático.



A continuación se presentan las consideraciones para la modelación de rutas de descarbonización para los distintos sectores económicos. Es importante mencionar que, para los propósitos de este trabajo, dentro del sector energético se incluyen los sectores eléctrico, de transporte, industrial, comercial y residencial.; mientras que dentro de los sectores no energéticos se incluye la información para residuos y AFOLU.

Usualmente, los modelos para el desarrollo de rutas de descarbonización se han caracterizado por tener un enfoque en el sector energético, abarcando desde la generación hasta el consumo final de energía eléctrica del transporte, la industria, uso comercial y residencial. Sin embargo, es menos común integrar a los sectores de residuos y AFOLU como parte de la modelación de trayectorias de descarbonización.

En el caso de AFOLU, esto se debe a la complejidad que conlleva cuantificar las distintas medidas de mitigación propuestas en los modelos; a la escasez y desagregación de datos requerida, y al cambio en los potenciales de absorción de la cobertura vegetal según su tiempo de vida, aunado a las interrelaciones entre sus distintas soluciones. Por su parte, algunos de los principales retos del sector radican en la complejidad para la cuantificación de emisiones derivadas de la quema de residuos y dadas las atribuciones locales en torno a su exportación para tratamiento en otras regiones o ciudades.

A pesar de los retos antes mencionados, es indispensable contemplar a los sectores no energéticos, ya sea de manera integrada o independiente, en el desarrollo de rutas de descarbonización, ya que éstos pueden representar importantes oportunidades para la reducción de emisiones y para la vinculación de agendas enfocadas en el desarrollo sostenible. A continuación, se detallan, por tipo de sector, algunas medidas de descarbonización propuestas a escala global, así como aspectos para la modelación de rutas de descarbonización por sector.

ENERGÍA: ELECTRICIDAD, TRANSPORTE, INDUSTRIA Y EDIFICIOS

Como se mencionó anteriormente, para el desarrollo del presente trabajo, el sector energético contempla tanto la generación de energía eléctrica, como la demanda energética del transporte, la industria y los edificios. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021), las actividades de generación y consumo de ésta representan en conjunto tres cuartas partes de las emisiones de GEI a nivel mundial, ubicándolos como los principales generadores de este tipo de emisiones. Por eso, es de suma importancia establecer medidas de mitigación efectivas para reducir las emisiones en estos sectores.



En ese sentido, la última publicación de la IEA (2021) establece una hoja de ruta por medio de la cual es posible alcanzar emisiones globales netas cero en este sector hacia 2050. En dicho estudio se plantean rutas de descarbonización con medidas de mitigación con un bajo nivel de dependencia de tecnologías de carbono negativo (esto es, captura de carbono). Esta hoja de ruta global fue diseñada maximizando la factibilidad técnica, costo-efectividad y aceptación social, garantizando un crecimiento económico continuo y el suministro de energía. Las medidas de mitigación incluidas se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Medidas para alcanzar emisiones netas cero a 2050 por sector energético a escala global

SECTOR Y PORCENTAJE DE EMISIONES ^A EN 2020	MEDIDAS PARA ALCANZAR EMISIONES NETAS CERO A 2050 A NIVEL GLOBAL
Edificios (10%)	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la venta de calentadores y calderas a base de combustibles fósiles para 2025. • La mayoría de los electrodomésticos y sistemas de refrigeración en el mercado deberán ser los mejores en su clase en cuanto a eficiencia energética para 2035. • 50% de los edificios existentes deberán estar acondicionados de acuerdo con códigos energéticos de construcción^B para alcanzar cero emisiones de carbono para 2040, porcentaje que aumentará a 85% hacia 2050.
Transporte (20%)	<ul style="list-style-type: none"> • 60% de los autos vendidos a nivel global deberán ser eléctricos para 2030. • 50% del transporte de carga pesada deberá ser eléctrico para 2035. • Se eliminarán las ventas de vehículos con motor de combustión interna para 2035. • 50% del combustible usado en la industria de la aviación deberá ser bajo en emisiones para 2040.
Industria (30%)	<ul style="list-style-type: none"> • Despliegue de tecnologías limpias como la captura, el almacenamiento y el uso de CO₂ y del hidrógeno como fuente de energía en la industria pesada^C para 2030. • Todos los motores eléctricos utilizados en la industria deberán de ser los mejores en su clase en cuanto a eficiencia energética para 2035. • Cerca de 90% de la capacidad existente en la industria pesada alcanzará el fin de su ciclo de inversión en 2040.



SECTOR Y PORCENTAJE DE EMISIONES ^A EN 2020	MEDIDAS PARA ALCANZAR EMISIONES NETAS CERO A 2050 A NIVEL GLOBAL
Electricidad y calor (40%)	<ul style="list-style-type: none"> • No se aprobarán nuevas plantas de carbón para 2021. • Se aumentará anualmente la capacidad instalada de energía solar y eólica en 1020 GW a partir de 2030. • Se eliminará el uso del carbón en las economías desarrolladas desde 2030. • La electricidad neta total alcanzará niveles de cero emisiones de carbón en economías desarrolladas para 2035. • Casi 70% de la electricidad mundial deberá generarse a partir de energía solar fotovoltaica y eólica para 2045.
Otros	<p>El despliegue de tecnologías como el hidrógeno y la captura y almacenamiento de carbono permitirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalar capacidad de electrólisis de 850 GW y 3500 GW para uso de hidrógeno como combustible para 2030 y 2045, respectivamente. • Capturar 4 GtCO₂ y 7.6 GtCO₂ para 2035 y 2050, respectivamente.

^A Estimación del porcentaje de emisiones por sector en 2020, con base en el consumo energético de los sectores incluidos en el estudio. Para electricidad se considera la generación de energía eléctrica.

^B Éstos deben proveer los lineamientos para que los edificios sean altamente eficientes en su consumo de energía y que la que utilicen provenga de fuentes de energía renovable o que su electricidad y calefacción que no dependan de combustibles fósiles hacia 2050.

^C Se refiere a los procesos industriales que requieren equipo e instalaciones grandes o procesos complejos. Pueden ser industrias de extracción de minerales y combustibles fósiles, procesamiento de metales, manufactura de máquinas pesadas, entre otras.

Fuente: Elaborada con base en IEA (2021).

Para la modelación de las medidas y políticas energéticas y sus posibles impactos de reducción de emisiones de GEI, demanda y generación de energía, entre otros, se puede recurrir a distintos modelos energéticos. En el cuadro 4 se presentan algunos de los modelos energéticos de acuerdo con su estructura, principales datos de entrada y salida, enfoque y principales usos.



Cuadro 4. Comparación de modelos energéticos para elaborar rutas de descarbonización

MODELO	ESTRUCTURA	PRINCIPALES ENTRADAS	PRINCIPALES SALIDAS	ENFOQUE	USOS
Energy Policy Simulator (EPS)	Sistemas dinámicos	<ul style="list-style-type: none"> • Escenario BAU • Intensidad de emisión de diferentes combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones • Curvas de costos marginales de abatimiento (MACC, por sus siglas en inglés) • Costos y ahorros • Co-beneficios en salud por mejora en la calidad del aire • Generación de empleos 	<i>Bottom-up</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Prospección de sectores energéticos (eléctrico, industrial, edificios y de transporte)
Energy PATHWAYS (EP)	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsores de demanda • Eficiencia tecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de tecnología a utilizar según el sector • Datos de actividad de la tecnología 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda y uso final de energía por sector del lado de la oferta • Costos del subsector 	<i>Bottom-up</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelación de la evolución de los sectores energéticos que permite un enfoque de <i>backcasting</i>.
RIO	Optimización lineal	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda de electricidad variable en el tiempo • Demanda de combustible 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones • Demanda de energía • Costos • Infraestructura de transmisión necesaria 	<i>Bottom-up</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Evolución de las tecnologías de generación eléctrica y el acoplamiento de los sectores energéticos
PLEXOS	Optimización lineal	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda eléctrica • Oferta de renovables • Combustibles • Costos 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones • Demanda eléctrica futura 	<i>Bottom-up</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Prospección del sector eléctrico en diferentes escenarios



MODELO	ESTRUCTURA	PRINCIPALES ENTRADAS	PRINCIPALES SALIDAS	ENFOQUE	USOS
TIMES	Optimización lineal	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda de servicios de energía de uso final por región • Equipos energéticos por sector • Características de las tecnologías futuras • Fuentes presentes y futuras de suministro de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Configuraciones del sistema de energía • Flujos y costos de energía • Precios de las materias primas energéticas • Emisiones de GEI y costos marginales de reducción de emisiones 	Bottom-up	<ul style="list-style-type: none"> • Modelación del sistema que satisfaga las demandas de servicio de energía a menor costo, en determinado tiempo

Fuente: Elaboración propia con base en Evolved Energy Research (2020).

AGROPECUARIO, FORESTAL Y OTROS USOS DE LA TIERRA

La crisis climática y de biodiversidad están intrínsecamente relacionadas. Por eso, las soluciones basadas en la naturaleza tienen el potencial de mitigar un tercio de lo necesario para lograr el Acuerdo de París. Al mismo tiempo, alrededor de un millón de las especies conocidas de plantas y animales se encuentran en peligro de extinción por causas antropogénicas (cambio de uso de suelo, cambio climático, contaminación, extracción ilegal, etc.) (IPBES, 2019). El concepto *naturaleza positiva* propone darle un alto grado de prioridad a la conservación del medio ambiente y biodiversidad como medida que, al mismo tiempo, representa una solución para la mitigación y la adaptación al cambio climático.

En el ámbito mundial, se estima que el sector AFOLU es responsable de 22% de las emisiones de GEI (Shukla *et al.*, 2019). Las medidas de mitigación en este sector van desde mejorar prácticas agropecuarias para reducir la intensidad de emisiones de GEI —en particular de CH₄ y N₂O—, hasta una transición a dietas bajas en carbono, que tengan una menor dependencia de productos animales —en específico de carne del ganado bovino—. Además, como se mencionó anteriormente, este sector representa un potencial importante de absorción de CO₂ mediante sumideros de carbono naturales, como bosques y suelos, por lo que es crucial garantizar la conservación de estos ecosistemas y promover prácticas agroforestales sustentables. A continuación se enlistan algunas medidas clave que



pueden ser implementadas para descarbonizar el sector AFOLU a escala mundial y maximizar su potencial de absorción de dióxido de carbono, de acuerdo con Svensson y sus colaboradores (2021):

- Reducir la intensidad de emisiones en la producción agropecuaria mediante la disminución del uso de fertilizantes (N_2O) y ajustes en la dieta del ganado para la reducción de emisiones de metano (CH_4) provenientes de la fermentación entérica.
- Sustitución de fuentes de energía fósiles por biocombustibles provenientes de la biomasa (secuestro y regeneración).
- Promover dietas bajas en emisiones y evitar la generación de desechos de alimentos.
- Maximizar el secuestro de carbono mediante un uso apropiado del suelo a través de la conservación de sumideros de carbono, evitando la degradación y pérdida de bosques.
- Promover prácticas de conservación y restauración de la biodiversidad; por ejemplo, áreas naturales protegidas, reforestación y recuperación de ecosistemas, prácticas agropecuarias sostenibles y baja densidad de ganado.

Existen múltiples retos asociados a la modelación de rutas de descarbonización en el sector AFOLU. Esta modelación incluye supuestos sobre fenómenos que modifican y tienen un fuerte impacto en la dinámica territorial, lo cual se refleja en las tasas de cambio de uso de suelo y vegetación; por ejemplo, crecimiento demográfico y económico, cambios culturales, demanda internacional de productos agropecuarios, uso de tecnologías de producción agrícola y prácticas eficientes para la conservación (Pye y Bataille, 2016). Estas dinámicas varían en cada región y dificultan la estimación de las emisiones o el potencial de mitigación de las políticas públicas y sus acciones.

Como ya se ha mencionado, el sector AFOLU tiene variables particulares que deben considerarse en la modelación de rutas de descarbonización. En primer lugar, porque se trabaja con sistemas territoriales dinámicos que responden de manera diversa a los cambios ambientales y a las prácticas de manejo agropecuario y forestal. En segundo lugar, porque las dinámicas sociales, económicas (internas o externas) y políticas suceden en un espacio geográfico delimitado y generan una matriz con categorías de uso de suelo y vegetación que cambian con el tiempo.

En este contexto, se pueden englobar cuatro componentes que deben tomarse en cuenta en la modelación de las variables para la elaboración de rutas de descarbonización para dicho sector:



1. Potencial de mitigación mediante el secuestro y almacenamiento de carbono de ecosistemas. La pérdida de cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo derivado de las actividades agropecuarias son las principales causas de emisiones de GEI del sector.

2. Dinámicas territoriales. Se deben considerar tasas históricas de cambio por categoría de uso de suelo o vegetación, permanencia de ecosistemas naturales y la proyección de tendencias futuras y sus principales causas de cambio, considerando variables socioeconómicas.

3. Variabilidad de los sistemas productivos y de la demanda de calorías. A escala nacional existen distintas unidades de producción agrícola de acuerdo con su superficie, intensidad de producción y comercialización. A pesar de que existen esfuerzos por categorizar estas unidades, se puede perder el detalle de la diversidad de prácticas y tecnologías.

4. Sinergia con agendas de desarrollo sostenible. Las políticas de mitigación deben diseñarse considerando sus posibles efectos en el bienestar social. La descarbonización del sector puede inducir a cambios en la oferta y la demanda de productos agropecuarios, en la provisión de agua, en la oferta de trabajos dignos y en la composición de la diversidad biológica.

Los modelos de descarbonización en el sector AFOLU aumentan su complejidad a medida que integran más variables, tanto de las funciones ecosistémicas como de la tipología en la gestión de las unidades de producción. Las experiencias previas en el modelaje del sector proponen variables indispensables para la creación de rutas de descarbonización, las cuales representan un punto de partida para su análisis.

A continuación, se enlistan algunos de los ejercicios de modelación para el sector, con una descripción general y su enfoque técnico (cuadro 5).



Cuadro 5. Ejercicios y herramientas de modelación para el sector AFOLU a escala global

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	ENFOQUE TÉCNICO	HALLAZGOS
<p>Trayectorias de descarbonización netas cero en América Latina (Bataille <i>et al.</i>, 2020)</p>	<p>El estudio modeló una trayectoria de descarbonización profunda para Argentina, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México y Perú. Los sectores en los que se enfoca son eléctrico, transporte de pasajeros y AFOLU.</p>	<p>Para la modelación, cada equipo local partió de distintos IAM, de equilibrio parcial, CGE, de simulación, o alguna combinación. Ecuador y Colombia incluyeron al sector AFOLU en los modelos de optimización de energía, mientras que los demás países lo modelaron de manera separada.</p> <p>Para el sector AFOLU se incluyó un análisis tanto para el potencial de mitigación de GEI (agropecuaria) como de absorción de CO₂ (deforestación y reforestación).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La naturaleza de las emisiones del sector AFOLU varía en cada país debido a sus propias actividades humanas y recursos naturales, así como por el nivel de ambición de los esfuerzos. • AFOLU tiene un área de oportunidad para la cooperación y el financiamiento internacional. • Reducir la deforestación e incrementar la reforestación tienen un reto por las actividades ilegales de minería, agricultura y forestales.
<p>Mitigación del cambio climático a través de transiciones del sistema ganadero (Havlík <i>et al.</i>, 2014)</p>	<p>Mediante este estudio se proyectó el comportamiento de emisiones para este sector a escala mundial para 2030. Se encontró que una de las principales medidas de mitigación sería mediante las emisiones evitadas por la conversión de suelo.</p>	<p>Por medio de un modelo global de equilibrio parcial, se proyectó una representación detallada y de alta resolución para el sector AFOLU.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un mecanismo de precio al carbono para el sector agrícola y cambio de uso de suelo (US\$10/tCO₂e). • Reubicación intra e interregional del ganado. • Políticas para evitar el cambio de uso de la tierra. • Limitar la ingesta calórica a 2000 cal per cápita por día.
<p>Global Change Analysis Model (GCAM)</p>	<p>Un modelo global de código abierto que representa el comportamiento y las interacciones entre la economía y cinco sistemas: energía, agua, agricultura, uso del suelo y clima.</p>	<p>En este modelo, el sector AFOLU incluye información sobre el uso de la tierra, la cubierta vegetal, las reservas de carbono y las emisiones netas, la producción de bioenergía, alimentos, fibras y productos forestales. Las demandas están impulsadas por el tamaño de la población, sus niveles de ingresos y los precios de los productos básicos. La demanda de bioenergía se deriva del sector energético.</p>	<p>Los resultados del GCAM incluyen variables relacionadas con la producción, el consumo, los precios, la tierra, los fertilizantes, el carbono y otras emisiones como CH₄ y N₂O.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en los modelos presentados.

En resumen, la selección de variables del sector AFOLU depende, en gran medida, de la facilidad de acceso a la información en la escala necesaria, lo cual representa una limitante a las posibilidades de modelación, pero asegura su practicidad y replicabilidad. Aunque su descarbonización se enfrenta a integrar la gran complejidad del sistema, es necesario avanzar para sistematizar las lecciones aprendidas, hacer accesible la información y mejorar los procesos de actualización y captura de los datos, para ir afinando un modelo adecuado a sus necesidades y que promueva la acción climática justa.

En el caso del sector residuos, se introduce la generación de emisiones y estrategias a nivel mundial. Como caso de referencia, se presentan las características generales de la modelación para la ciudad de Shanghái, que ilustra cómo se vería un modelo detallado para este sector desde el ámbito local.

RESIDUOS

Se estima que las emisiones de GEI (CH_4 , CO_2 y N_2O) procedentes de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) contribuyen aproximadamente a 5% de las emisiones globales. La evaluación del ciclo de vida de la gestión de los RSU en relación con las emisiones de GEI revela que más de 50% de estos residuos no se gestionan de manera adecuada, sino que se queman al aire libre o se depositan en vertederos en la mayoría de los países en desarrollo. Por otra parte, menos de 40% se procesa a través del reciclaje y el compostaje. Por lo tanto, la gestión sostenible de los residuos, desde la recolección hasta el tratamiento y la eliminación, con especial énfasis en la minimización de las emisiones de GEI, es esencial para mantener los recursos disponibles y salvaguardar el medio ambiente (Gautam y Agrawal, 2021).

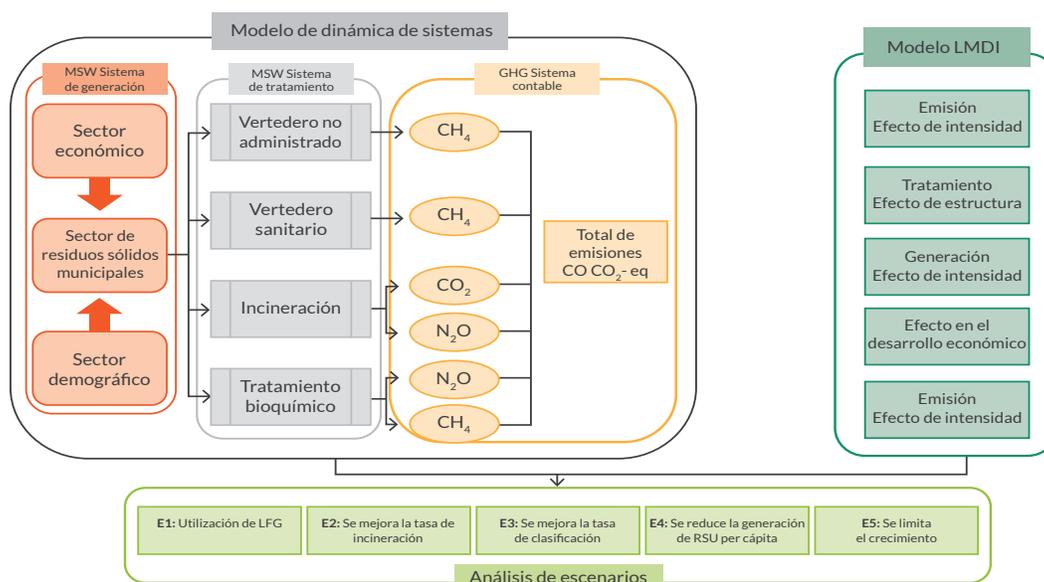
De acuerdo con el estudio elaborado por Gautam y Agrawal (2021), las principales estrategias en el ámbito internacional para el tratamiento sostenible de los RSU son:

1. Promover acciones de las 5R: reducir, reparar, recuperar, reutilizar y reciclar.
2. Separación de residuos desde los hogares.
3. Mejorar los sistemas de gestión de residuos.
4. Uso de residuos orgánicos para generar composta.
5. Recuperación de los vertederos abandonados para mitigar las emisiones.

De acuerdo con el estudio elaborado por Xiao y sus colaboradores (2021), en el caso específico de la ciudad de Shanghái, la urbanización acelerada y el crecimiento económico generan una enorme cantidad de RSU. Este análisis desarrolló un modelo combinado basado en la dinámica de sistemas y un índice de divisa media logarítmica (LMDI, por sus siglas en inglés) con el objetivo de identificar los precursores de las emisiones de GEI generadas por los RSU y explorar los potenciales de mitigación para este sector a 2050 (figura 4).



Figura 4. Diagrama esquemático sobre el modelo combinado para el desarrollo de escenarios de mitigación para el sector residuos



Fuente: Potenciales de mitigación de GEI del tratamiento de los residuos sólidos urbanos (Xiao et al., 2021)

Los resultados para el caso de la ciudad de Shanghái mostraron que el desarrollo económico, la densidad y el crecimiento poblacional, así como la intensidad de las emisiones, fueron las principales causas de la generación de GEI en este sector. Por otro lado, mediante la elaboración del escenario tendencial, se diagnosticó que reducir la cantidad de generación de RSU y su tratamiento fueron las medidas de mitigación más relevantes de 2000 a 2017.

Mediante los distintos escenarios de descarbonización, se identificó que utilizar gases provenientes de los rellenos sanitarios (vertederos) para la generación de energía y mejorar el proceso de la separación de los residuos fueron las medidas más costo-efectivas: el potencial de reducción de emisiones de GEI es de 88% y 85%, respectivamente, en comparación con el escenario tendencial en 2050. Asimismo, la reducción de las tasas de incineración de residuos (72%) y la disminución de RSU per cápita (30%) son medidas adicionales que pueden contribuir a la mitigación.

Si bien este estudio se enfoca en una ciudad debido al nivel de detalle requerido en los datos de entrada, muestra algunas de las opciones y potenciales de mitigación para las rutas de descarbonización de los RSU para las grandes ciudades. Además, será importante incluir las opciones y potenciales de mitigación en el tratamiento de aguas residuales y llevar a cabo campañas de concientización para que, desde las opciones de consumo y prácticas de separación de residuos, se pueda disminuir tanto su cantidad como las emisiones de GEI asociadas al sector.

El siguiente capítulo presenta las herramientas de evaluación de la ambición climática a escala mundial, así como casos de rutas de descarbonización a nivel nacional y subnacional, identificando sus metas, metodologías y condiciones habilitadoras para su implementación.

03

Revisión de herramientas de evaluación y

CASOS DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

a nivel global

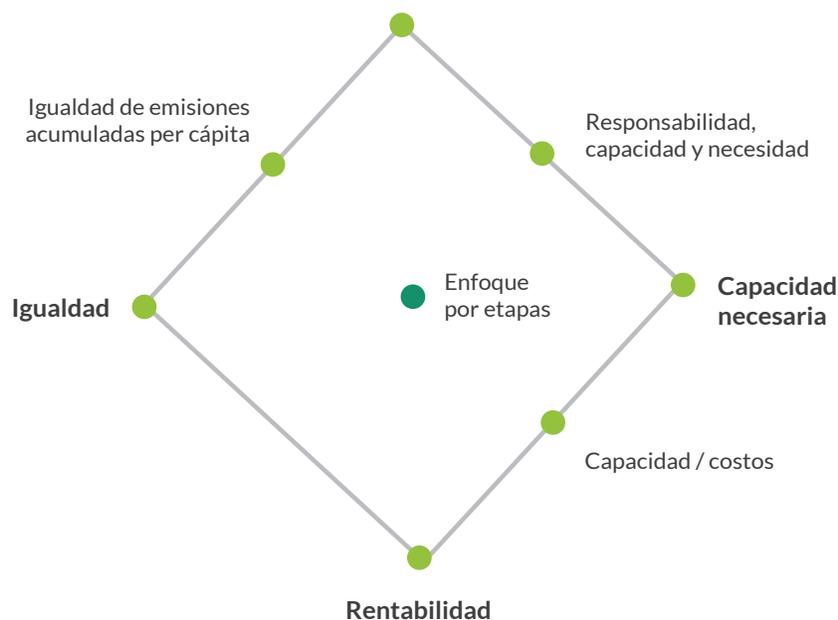


HERRAMIENTAS PARA EVALUAR LA AMBICIÓN DE LAS METAS DE MITIGACIÓN Y POLÍTICAS CLIMÁTICAS DE LOS PAÍSES

Organizaciones expertas como Climate Analytics y New Climate Institute han desarrollado herramientas como el Climate Action Tracker (CAT) y el 1.5 National Pathways Explorer que buscan cuantificar la contribución actual y potencial de los países a través de la modelación de escenarios de política, de acuerdo con sus NDC y estrategias nacionales. Su objetivo principal ha sido el determinar qué tan cerca está un país de cumplir sus metas y, de manera conjunta, cuánto aportan las distintas naciones a las metas de largo plazo del Acuerdo de París.

Ambas herramientas parten de modelos de evaluación integrados a escala global y, mediante éstos, se determina un presupuesto de carbono por país o región, que permite vincularse al límite de la temperatura media global de 1.5°C o 2°C. La asignación de dicho presupuesto sigue el principio del reparto justo o *fair share* que pondera distintos enfoques para la asignación de emisiones por país, los cuales van desde el presupuesto de carbono mundial, hasta su responsabilidad de acuerdo con sus emisiones históricas, incluyendo sus capacidades, igualdad y costos, etcétera (figura 5).

Figura 5. Enfoques para la distribución de esfuerzos de descarbonización



Fuente: Climate Action Tracker.



En donde:

- **Responsabilidad** se refiere a las reducciones de emisiones por debajo de una referencia que es asignada mediante el nivel de las emisiones históricas de un país. Esto fue propuesto por primera vez por Brasil en las negociaciones del Protocolo de Kioto.
- **Capacidad/necesidad** son las reducciones de emisiones por debajo de una referencia que es asignada mediante el nivel de capacidad económica de un país, a menudo por medio del PIB per cápita o el Índice de Desarrollo Humano.
- **Igualdad** es el punto en el que las emisiones per cápita alcanzan el mismo nivel para todos los países.
- **Igualdad de emisiones acumuladas per cápita** se refiere a que las emisiones mundiales deben de ser reducidas para que las emisiones acumuladas per cápita lleguen al mismo nivel.

De acuerdo con la metodología de CAT, una serie de estudios han utilizado explícitamente la responsabilidad, la capacidad y el acceso al desarrollo como base para distribuir la reducción de emisiones por país. Asimismo, otra serie de estudios utiliza como base la igualdad de costes o la pérdida de bienestar por el PIB. Se trata fundamentalmente de una combinación del potencial de mitigación y la capacidad de un país para reducir emisiones. Por último, un conjunto de estudios ha propuesto enfoques en los que los países asumen compromisos diferenciados en varias etapas. La clasificación en un grupo de etapas y los respectivos compromisos se determinan mediante indicadores que utilizan diversos principios de equidad.

Tanto el CAT como el 1.5 National Pathways Explorer construyen un escenario de referencia o BAU por país y permiten realizar un desglose de datos de salida por sector y por política. A continuación se presentan las características principales de ambas herramientas, así como los resultados primordiales de un estudio que las utiliza para estimar la brecha de ambición climática y lo necesario para llegar a un límite de temperatura muy cercano a 1.5°C, con un enfoque en los países del G20.

Climate Action Tracker: herramienta desarrollada por Climate Analytics y New Climate Institute que permite monitorear los esfuerzos climáticos de 40 países, de acuerdo con sus metas nacionales y políticas climáticas, ya sea inscritas o no en las NDC. La calificación CAT combina una evaluación de las políticas y los objetivos de un país con respecto a los marcos nacionales y de equidad modelados, así como una evaluación de los compromisos de financiamiento climático. De acuerdo con la calificación obtenida, se asigna una de las siguientes categorías por componente evaluado: 1) críticamente insuficiente; 2) altamente insuficiente; 3) insuficiente; 4) casi suficiente, y 5) 1.5 °C compatible con el Acuerdo de París.



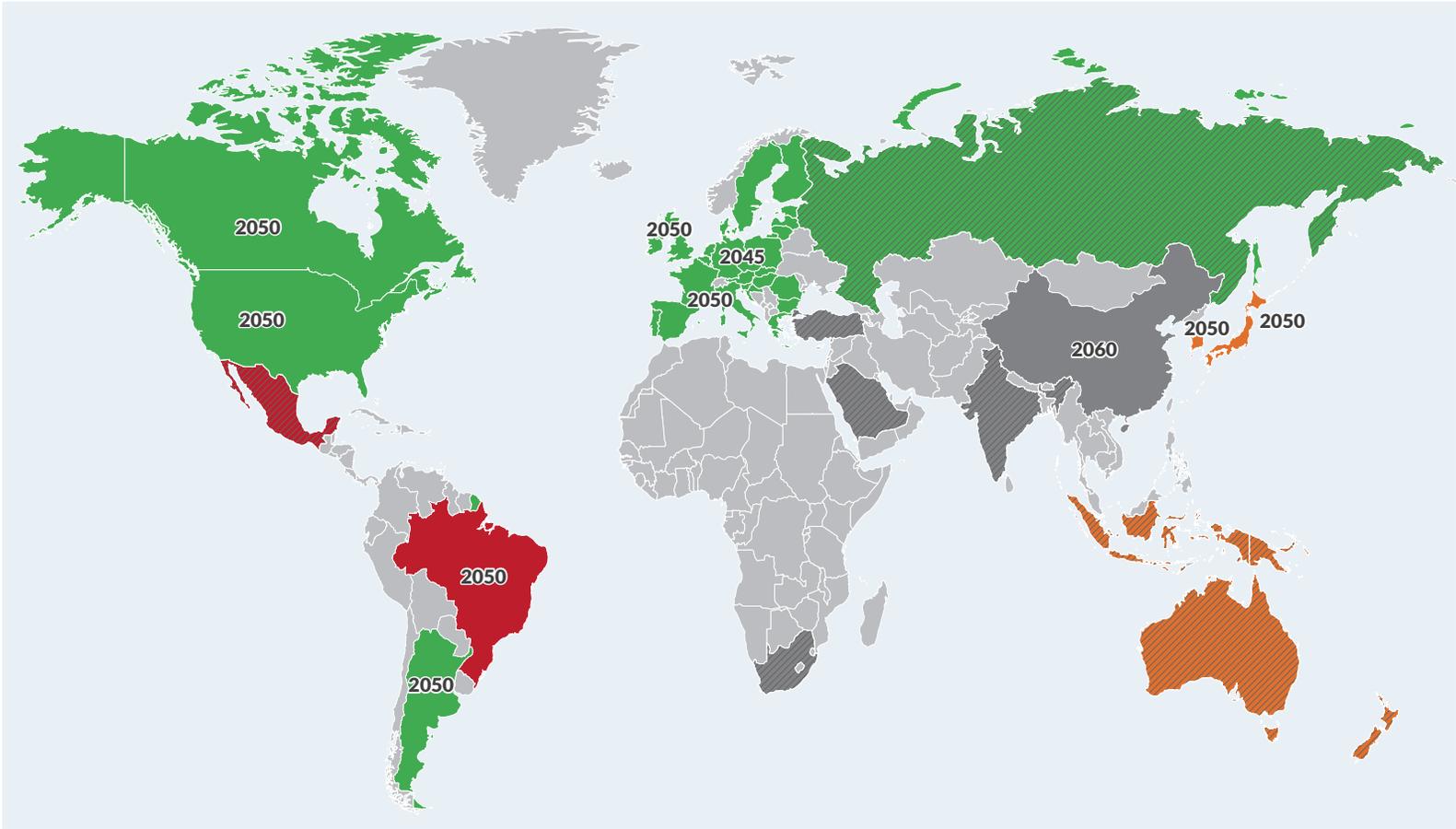
1.5 National Pathways Explorer: herramienta elaborada por Climate Analytics que evalúa las trayectorias de descarbonización nacionales necesarias para cumplir el objetivo de 1.5°C, sus principales características y brechas de ambición para 64 países. El análisis evalúa las trayectorias necesarias a 2030 y 2050. Además, ofrece una visión de toda la economía; la herramienta web proporciona puntos de referencia compatibles con 1.5°C para sectores individuales, entre los que se encuentran el eléctrico, industrial, residencial, de transporte, residuos y AFOLU.

Climate Analytics y World Resources Institute (2021) utilizaron ambas herramientas para hacer una evaluación de los compromisos del G20 y su brecha de ambición para limitar el incremento de temperatura global a 1.5°C. En este estudio se encontró que gracias al reciente fortalecimiento de las metas climáticas y el incremento de la ambición, que en varios casos incluye emisiones netas cero, en países como Canadá, Japón, Reino Unido, Estados Unidos, Argentina y la Unión Europea, sería posible limitar a 2.1°C el incremento de temperatura media global para fines del siglo.

Por otro lado, el análisis identificó que hay países que han debilitado sus NDC como Brasil y México, y aún no han anunciado una meta de emisiones netas cero. Otros países como Turquía, Sudáfrica y Arabia Saudita, anunciaron sus metas de emisiones netas cero poco antes de la COP26; sin embargo, aún no cuentan con las herramientas ni las políticas para implementarlas. Este panorama deja al G20 fuera de rumbo para conseguir un incremento máximo de temperatura de 1.5°C para fines del siglo. El siguiente mapa muestra las NDC presentadas durante el primer ciclo de actualización del Acuerdo de París en 2020, así como los objetivos anunciados en cuanto a emisiones netas cero por año.



Figura 6. Compromisos climáticos de los países del G20



Presentado, ambición alta
 Presentado, mayores emisiones de GEI
 Presentado, sin cambios
 Sin presentar

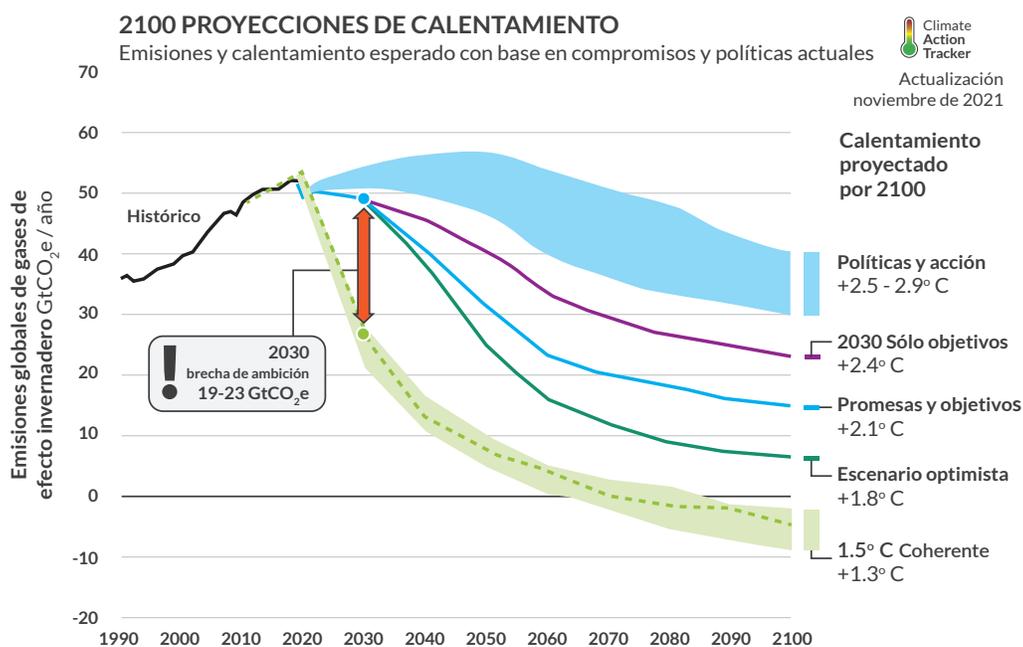
Sin objetivo de emisiones netas cero
 2024 - 2050 - 2060 Año para alcanzar las emisiones netas cero (si corresponde)

Fuente: Climate Analytics y World Resources Institute (2021).

Para limitar el incremento de temperatura a 1.7 °C, todos los Estados del G20 se tendrían que comprometer y trabajar por alcanzar la meta de emisiones netas cero para 2050 (Climate Analytics y World Resources Institute, 2021). Además, se requeriría de acciones ambiciosas para la reducción de emisiones por parte de los países que no forman parte del G20. Para lograr esto, muchas naciones en vías de desarrollo necesitarán apoyo financiero por parte de los países con mayor responsabilidad y capacidad para atender el cambio climático. Finalmente, será fundamental un compromiso y esfuerzo conjunto para reducir de manera significativa las emisiones de la aviación y el transporte de carga marítimo internacional.

La figura 7 muestra las trayectorias de las emisiones mundiales de GEI y sus niveles de calentamiento en 2100 para cinco escenarios que se basan en las políticas actuales, incluyendo los compromisos y las declaraciones hechas durante o después de la COP26 en Glasgow. Cabe mencionar que, actualmente, el CAT sólo evalúa alrededor de 40 países, que contribuyen a la mayor parte de las emisiones globales. De acuerdo con estas estimaciones, existe una brecha de ambición de 19 a 23 GtCO₂e para alcanzar una trayectoria de emisiones consistente con 1.5°C en 2030.

Figura 7. Proyecciones de calentamiento global y sus emisiones de acuerdo con las políticas y los compromisos actuales



Fuente: Climate Action Tracker (2021).



Si bien estas herramientas son útiles para estimar el avance y la brecha de ambición a escala internacional de acuerdo con las políticas y los compromisos climáticos por país, la construcción de rutas de descarbonización a nivel nacional es clave para identificar los sectores, los actores y los recursos necesarios para su implementación. Es por esto que en la siguiente sección se incluyen algunas iniciativas globales y regionales que promueven y facilitan la elaboración de dichas rutas.

INICIATIVAS INTERNACIONALES Y REGIONALES PARA LA ELABORACIÓN DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

El Instituto de Desarrollo Sostenible y Relaciones Internacionales (IDDRI por sus siglas en francés) y la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN por sus siglas en inglés) forman parte del secretariado de la plataforma del [Proyecto Trayectorias de Descarbonización Profunda](#) (DDPP por sus siglas en inglés). Institutos de investigación y líderes expertos de 16 países se han unido a esta iniciativa. Entre los países que se han sumado se encuentran Australia, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Francia, Alemania, India, Indonesia, Italia, Japón, México, República de Corea, Sudáfrica, Reino Unido y Rusia. En conjunto, las emisiones de GEI de estos países representan 70% de las emisiones globales actuales.

Los elementos clave en los que se basa esta metodología incluyen:

- Las trayectorias de descarbonización profunda de cada país son desarrolladas por equipos de investigación locales.
- El enfoque común utilizado se conoce como *backcasting*, el cual utiliza la meta de descarbonización de 2050 como el punto de partida y analiza las condiciones necesarias para alcanzarla, a diferencia del análisis de la proyección de las tendencias actuales.
- Se utilizan tableros de herramientas comunes a los distintos países para modelar los diferentes sectores y tecnologías, lo que asegura la transparencia metodológica.

La iniciativa DDPP identifica que, para alcanzar metas climáticas ambiciosas de manera colectiva, es fundamental visualizar las transformaciones económicas profundas que se requieren para vincular las grandes reducciones de emisiones de GEI con las necesidades de desarrollo propias de cada contexto nacional o regional.

En el ámbito regional, el [Proyecto Trayectorias de Descarbonización Profunda en Latinoamérica y el Caribe](#) (DDPLAC) fue iniciado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y financiado por la Iniciativa de Energía Sostenible y Clima de éste, el Fondo Francés para el



Clima también del BID, la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) y la plataforma DDPP gestionada por el IDDRI. Este proyecto fue diseñado con el objetivo de ayudar a fortalecer las capacidades nacionales en seis países (Argentina, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México y Perú), para investigar el diseño de estrategias a largo plazo basadas en una sólida base científica e integradas en el diálogo político nacional (DDPLAC Consortium, 2020).

Por otro lado, en 2015, la [Coalición Under2](#) fue lanzada por el estado de California y el estado alemán Baden-Württemberg para promover planes, políticas y acciones climáticas ambiciosas entre estados y regiones. Los gobiernos de la coalición se comprometen a mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C con esfuerzos para alcanzar los 1.5°C.

A escala mundial, la organización Climate Group gestiona la campaña de la Coalición Under2 y ha dado acompañamiento para la elaboración de rutas de descarbonización a siete estados de Latinoamérica, los cuales se han comprometido a reducir sus emisiones de GEI a largo plazo:

- México: Querétaro y Quintana Roo
- Brasil: Amazonas, Mato Grosso y São Paulo
- Argentina: Santa Fé
- Perú: Madre de Dios

Los detalles de la metodología para la elaboración de rutas de descarbonización de esta iniciativa pueden encontrarse en la sección “Rutas de descarbonización en el ámbito subnacional”, donde se comparte más información acerca de la elaboración y resultados de las trayectorias de descarbonización para Querétaro y Quintana Roo en México.

Además de estos siete estados, más de 30 gobiernos subnacionales de la región se han adherido a la Coalición Under2. Para unirse existen criterios en cuanto al compromiso del gobierno y los avances o planes en la materia, buscando el desarrollo de rutas de descarbonización en el corto plazo. La adhesión a la Coalición Under2 es un primer paso para unirse a la campaña global Race to Zero, respaldada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Esta campaña busca que distintos actores se comprometan a emisiones netas cero para 2050. En México, el total de estados miembros de la Coalición Under2 son 17, de los cuales tres se encuentran en procesos de adhesión.¹

¹ En este enlace se puede encontrar la lista de estados miembros por región: <https://www.theclimategroup.org/our-work/states-and-regions-under2-coalition>.



Mientras que las iniciativas globales y regionales para el desarrollo de rutas de descarbonización son clave para impulsar, en conjunto, metas de descarbonización ambiciosas, las políticas y estrategias a nivel país permiten incluir el detalle de las políticas y los planes para la transición de cada economía. La siguiente sección muestra casos internacionales de desarrollo de rutas de descarbonización que buscan alcanzar la neutralidad de carbono a 2050.

CASOS INTERNACIONALES EN EL DESARROLLO DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN EN EL ÁMBITO NACIONAL

En el cuadro 6 se resumen las características principales de las estrategias de descarbonización de Australia, Costa Rica, Canadá, Japón y Reino Unido. En todos los casos se incluye una meta de emisiones netas cero para 2050 y en la mayoría existen metas intermedias para 2030. Asimismo, algunos de los casos presentan metas sectoriales. Además, las estrategias incorporan algunos aspectos sobre los enfoques técnicos para el desarrollo de rutas de descarbonización, así como los sectores y las condiciones habilitadoras para su implementación.

Cuadro 6. Aspectos relevantes y enfoques técnicos de rutas de descarbonización por país

PAÍS	META DE DESCARBONIZACIÓN	ENFOQUE TÉCNICO	SECTORES	CONDICIONES HABILITADORAS
Reino Unido Net Zero Strategy: Build Back Greener (2021-2050)	Emisiones netas cero para 2050. Reducción de 78% de las emisiones para 2035, comparado con los niveles de 1990.	Estrategia de largo plazo, emisiones netas cero. Basa sus medidas en el potencial de abatimiento por sector.	<ul style="list-style-type: none"> • Energía • Provisión de combustibles e hidrógeno • Industria • Edificios y calefacción • Transporte • Residuos, recursos naturales • Remoción/captura de GEI 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación, inversiones y empleos verdes. • Desarrollo de capacidades e industrias. • Acción climática local. • Empoderamiento público y del mercado para elegir opciones bajas en carbono.

PAÍS	META DE DESCARBONIZACIÓN	ENFOQUE TÉCNICO	SECTORES	CONDICIONES HABILITADORAS
<p>Costa Rica</p> <p>Estrategia Nacional de Descarbonización (2018-2050)</p>	<p>Emisiones netas cero para 2050 con metas intermedias por sector.</p>	<p>Metodología cuyo punto de partida es una visión de largo plazo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Etapa inicial (2018-2022). 2. Etapa de inflexión^A (2023-2030). 3. Etapa de despliegue masivo^B (2031-2050). <p>Bajo el marco del proyecto y metodología de Deep Decarbonization Pathways.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Transporte •Electricidad •Construcción •Industria •Residuos •Agropecuario •Gestión del territorio 	<ul style="list-style-type: none"> •Reforma fiscal verde. •Financiamiento y atracción de inversiones. •Digitalización y una economía basada en el conocimiento. •Transición laboral justa. •Inclusión de derechos humanos e igualdad de género. •Transparencia y monitoreo de datos. •Educación ambiental.
<p>Japón</p> <p>Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050</p>	<p>Alcanzar emisiones netas cero para el año 2050.</p> <p>Para 2030, reducir las en 46% con respecto a los niveles de 2013.</p>	<p>Se basa en el establecimiento de una meta de emisiones netas cero.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Energía eléctrica •Industria •Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> •Asignación presupuestal (Fondo de Innovación Verde). •Sistema de impuestos. •Financiamiento. •Reforma regulatoria. •Cooperación internacional. •Promover iniciativas de universidades. •Grupo de trabajo de los jóvenes para el crecimiento verde.



PAÍS	META DE DESCARBONIZACIÓN	ENFOQUE TÉCNICO	SECTORES	CONDICIONES HABILITADORAS
<p>Canadá</p> <p>Canada's Net Zero Future (2021-2050)</p>	<p>Emisiones netas cero para 2050. Reducción de 30% las emisiones de GEI por debajo de los niveles de 2005.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones netas cero. • Toma en cuenta las emisiones netas negativas (soluciones basadas en la naturaleza). • Excluye mecanismos de transferencia internacional.^c • Desarrolla escenarios de descarbonización. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción • Transporte • Industria • Energía eléctrica • Captura y almacenamiento de carbono 	<p>La transición hacia emisiones netas cero debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ser inclusiva. • Estar apoyada por patrones sociales de comportamiento bajos en carbono. • Promover el liderazgo de las comunidades indígenas.
<p>Australia</p> <p>Australia's Long-Term Emissions Reduction Plan (2021-2050)</p>	<p>Emisiones netas cero para 2050.</p> <p>Reducción de emisiones por persona a la mitad para 2030, con base en el año 2005.</p> <p>La estrategia contempla alinear los esfuerzos con los estados y territorios a través de acuerdos de apoyo.</p>	<p>Establece un escenario BAU y escenarios de descarbonización.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Electricidad • Transporte • Construcción • Agricultura y uso de suelo • Industria minera y manufacturera 	<ul style="list-style-type: none"> • Transparencia para convertir la ambición en logros. • La estrategia busca animar a gobiernos subnacionales a utilizar el Fondo de Reducción de Emisiones para mejorar la transparencia y la rendición de cuentas.

^A Etapa en la que las políticas climáticas se convierten en una consideración permanente en un número cada vez mayor de decisiones, cambiando el carácter de las inversiones y las decisiones políticas para dejar atrás los modelos de desarrollo que implican emisiones de GEI.

^B Etapa en la que se adoptan plenamente las modalidades compatibles con el clima en todos los sectores y se aplican de forma continua para lograr la transformación mediante la tecnología en curso.

^C Excluir los mecanismos de transferencia internacional significa que las rutas para emisiones netas cero no permiten que éstas sean compensadas con transferencias internacionales de reducción de emisiones a través de sistemas de comercio.

Fuente: Elaboración propia con base en los casos presentados.



Si bien las rutas de descarbonización a escala nacional deben contemplar el nivel de ambición requerido para cumplir con los objetivos de largo plazo del Acuerdo de París, el desarrollo de instrumentos e iniciativas de descarbonización en el ámbito subnacional ha ido en aumento recientemente y es clave para apoyar el cumplimiento de las metas climáticas desde lo local hacia lo nacional. Además, promueve un incremento de ambición en los países en los que la actualización de sus NDC no haya sido progresista. La siguiente sección incluye los elementos y enfoques técnicos de algunos casos de rutas de descarbonización subnacionales de distintas ciudades y estados a escala mundial.

CASOS INTERNACIONALES EN EL DESARROLLO DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN A NIVEL SUBNACIONAL

Como se mencionó anteriormente, cada vez son más las ciudades, estados y regiones que se comprometen a metas de emisiones netas cero hacia 2050. Iniciativas de distintas organizaciones internacionales como Climate Group, C40 y World Wildlife Fund los han apoyado para adherirse a la campaña Race to Zero. Cada una de estas organizaciones tiene distintos mecanismos de apoyo y adhesión, de acuerdo con el ámbito de gobierno. La campaña Race to Zero involucra un compromiso político, mediante el cual se busca articular metas e instrumentos de planeación climática para la implementación de medidas de descarbonización que lleven al cumplimiento de los objetivos de mitigación, en línea con un incremento de temperatura de 1.5°C. De acuerdo con el último informe sobre mitigación del IPCC (2022), las ciudades y regiones que se han comprometido a una meta de neutralidad de carbono son 826 y 103, respectivamente.

Por otro lado, algunos gobiernos subnacionales optaron por definir sus metas de descarbonización mediante el enfoque de presupuestos de carbono, desde antes de que cobraran fuerza las iniciativas globales para alcanzar emisiones netas cero. A continuación se presenta una matriz con los enfoques específicos y las características principales de algunas rutas de descarbonización basadas en un presupuesto de carbono para los casos subnacionales de Victoria en Australia, Gran Manchester en Inglaterra y Järfälla en Suecia. Además, se incluye el caso de Copenhague en Dinamarca, con un método distinto, basado en una calculadora de emisiones con un enfoque ascendente para el desarrollo de sus rutas de descarbonización.



Cuadro 7. Características principales y enfoques técnicos de rutas de descarbonización desarrolladas para gobiernos subnacionales en el ámbito internacional

GOBIERNO SUBNACIONAL	META DE DESCARBONIZACIÓN	ENFOQUE	METODOLOGÍA	VALORES DESCARTADOS
Victoria, Australia (2014)	Reducir las emisiones y limitar la temperatura media global por debajo de 2°C. Año límite: 2050	Con base en el presupuesto de carbono nacional (enfoque descendente).	A partir del promedio de cuatro asignaciones diferentes, que incluyen el método de contracción y convergencia modificada. ^A	Emisiones históricas estatales.
Gran Manchester, Inglaterra (2018)	Reducir las emisiones y limitar la temperatura media global por debajo de 2°C. Año meta: 2050	Con base en el presupuesto de carbono nacional (enfoque descendente).	Metodología de asignación de Reino Unido (promedio de tres enfoques principales). ^B	Emisiones de los sectores aviación y transporte.
Järfäll, Suecia (2014)	Alcanzar “Cero emisiones”. Año meta: 2100	Con base en el presupuesto nacional (enfoque descendente).	Utiliza la asignación soberana para determinar el presupuesto de carbono subnacional. ^C	Sólo se enfoca en las emisiones del sector energético.
Copenhague, Dinamarca (2015)	Alcanzar la neutralidad de carbono. Año meta: 2025	Con base en la generación de emisiones territoriales actuales (enfoque ascendente).	Copenhague desarrolló en 2008 una calculadora de medición de carbono, basada en la metodología utilizada por la Convención Marco de las Naciones Unidas para la realización de inventarios de GEI. ^D	N/A

^A Dicho método considera que los derechos de emisión por persona se contraerán a lo largo del tiempo, de forma lineal, en todos los estados y territorios para alcanzar emisiones netas cero en el mismo punto temporal y en dos fechas de convergencia: 2030 y 2050.

^B Se promedian los rangos (enfoques): población, asignación soberana y valor añadido bruto. Este promedio se utilizó para calcular el presupuesto de carbono recomendado, así como vías de emisión ilustrativas.

^C A partir del presupuesto mundial se realizó un desglose de las emisiones para proporcionar a Suecia un rango de presupuesto nacional de carbono basado en las emisiones históricas (principio de soberanía) y la contribución poblacional (principio de igualdad). Este rango presupuestario de carbono se desglosó a escala municipal, considerando el principio de soberanía para la distribución de emisiones territoriales (Anderson *et al.*, 2017). Con base en la información proporcionada por Estadística Suecia y las estadísticas regionales del Sistema de Objetivos Medioambientales, Desarrollo y Colaboración, se generaron los presupuestos subnacionales.

^D En este método se incluyen las emisiones de GEI dentro de los límites de la ciudad, así como las generadas por las empresas de propiedad municipal fuera de dichos límites. Del mismo modo, la energía generada a partir de fuentes renovables en la ciudad, así como la producida por las empresas de servicios públicos de Copenhague.

Fuente: Elaboración propia con información de GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021).



Independientemente del enfoque técnico que se elija para la definición y elaboración de escenarios de descarbonización desde los gobiernos subnacionales, es importante mencionar que cualquier enfoque permite visualizar cómo debería suceder la transición económica para llegar a emisiones netas cero alrededor de 2050. Si bien recientemente las campañas e iniciativas globales que promueven el compromiso de la neutralidad del carbono a escala subnacional han cobrado mucha relevancia, es importante destacar que el presupuesto de carbono puede incluir una meta de emisiones netas cero y ayuda a establecer objetivos anuales para identificar el esfuerzo requerido para la descarbonización desde el corto al largo plazo.

El siguiente capítulo aborda un marco legal para las entidades federativas mexicanas en torno a los instrumentos de planeación que permiten habilitar la implementación de programas y estrategias para el cumplimiento de objetivos de descarbonización ambiciosas. Asimismo, se incluye una sistematización a detalle de distintos ejercicios de descarbonización en el ámbito subnacional, de acuerdo con sus metodologías y enfoques técnicos. Finalmente, se comparan los ejercicios presentados conforme sus metas, enfoques técnicos y elementos principales.





04

Revisión de

RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

para México a escala nacional y subnacional

RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN A NIVEL NACIONAL

A partir de la entrada en vigor de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en 2012 y su posterior reforma en 2018, México ha mostrado un avance significativo en el ámbito normativo e institucional para el combate al cambio climático, al incorporar los objetivos del Acuerdo de París de mantener el aumento de la temperatura promedio global por debajo de los 2°C y proseguir los esfuerzos para limitarlo a 1.5°C. A su vez, incorporó los conceptos y las metas contenidos en la contribución prevista y determinada a escala nacional. Dichos compromisos implican reducir, de manera no condicionada, las emisiones de GEI en 22% y en 51% las de carbono negro hacia 2030, respecto a las registradas en 2000, alcanzando un pico de emisiones en 2026. Mientras que de manera condicionada se propuso reducir en 36% las emisiones de GEI y en 70% las emisiones de carbono negro hacia 2030. A diferencia de la meta no condicionada, la condicionada requiere de cooperación y esquemas de financiamiento internacional.

Además, la LGCC mandata que se deben establecer las bases para cumplir dichos objetivos por medio de una planeación clara y la definición de los medios de implementación. Uno de estos instrumentos es la Estrategia Nacional de Cambio Climático, la cual refleja los objetivos y la ambición de las políticas de mitigación nacionales. Esto incluye acciones y metas intermedias de corto y mediano plazos a 2050, diferenciadas por fuente de emisión y sector emisor de GEI, con una hoja de ruta para asegurar su cumplimiento (DOF, 2020).

La utilización de rutas de descarbonización en México ha servido como una herramienta que permite entender y atender las necesidades técnicas que el cumplimiento de la ley requiere. En primer lugar, permite identificar las implicaciones nacionales en escenarios de mitigación y, dentro de éstos, identificar trayectorias de descarbonización sectoriales, su comportamiento y las principales acciones de mitigación a considerar para cumplir con la ley y el compromiso adquirido en el Acuerdo de París.

A continuación se muestran, en orden cronológico, los primeros estudios realizados para el desarrollo de rutas de descarbonización a nivel nacional, detallando sus objetivos, aspectos metodológicos y sectores analizados. Mientras más reciente es el estudio, aumenta el detalle de modelación y contiene metas de mitigación más ambiciosas y a largo plazo.



Cuadro 8. Antecedentes para el desarrollo de rutas de descarbonización en México en el ámbito nacional

ESTUDIO	META	ASPECTOS METODOLÓGICOS	SECTORES/ MEDIDAS	FACTORES HABILITADORES
México: Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono (BM, 2009)	Evaluación del potencial de medidas sectoriales para la reducción de 40% de emisiones de GEI hacia 2030, respecto a la línea base.	<ul style="list-style-type: none"> • Línea base. • Análisis costo-beneficio. • Evaluación del impacto macroeconómico. • Identifica barreras para la mitigación por sector. 	<ul style="list-style-type: none"> • Electricidad. • Petróleo y gas. • Uso final de la energía. • Transporte. • Agrícola y forestal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas prioritarias. • Factibilidad técnica. • Financiamiento. • Políticas. • Co-beneficios. • Acciones de corto plazo. • Apoyo internacional.
Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones (INECC, 2012)	Evaluación del potencial de abatimiento de emisiones de GEI por sector que, de acuerdo con las medidas evaluadas, permitiría una reducción de 30% hacia 2020 y de 53% hacia 2030, con respecto al escenario tendencial.	<ul style="list-style-type: none"> • Línea base y diagnóstico sectorial sobre el avance de las acciones de mitigación. • Curvas de costos marginales de abatimiento. • Análisis financiero y de barreras para la implementación. • Estimación de la inversión incremental necesaria. • Análisis de los efectos macroeconómicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de energía más limpia. • Consumo eficiente de energía. • Sistema de precios y subsidios energéticos. • Transporte. • Manejo sustentable de residuos. • Uso de la tierra. 	El enfoque es en el análisis financiero y de las barreras para la implementación de un portafolio de proyectos propuesto.



ESTUDIO	META	ASPECTOS METODOLÓGICOS	SECTORES/ MEDIDAS	FACTORES HABILITADORES
Modelación de descarbonización profunda del sistema energético en México al 2050 (INECC, 2015) como parte de la iniciativa de DDPP	Explora las opciones tecnológicas más viables para hacer una transición a sistemas de energía de menor intensidad que permitan la reducción necesaria de CO ₂ en línea con un presupuesto de carbono de 2°C, mediante el enfoque de <i>backcasting</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los supuestos de crecimiento económico son iguales entre los escenarios de referencia y de descarbonización, y congruentes con una perspectiva de desarrollo social incluyente y sostenible a largo plazo. • Las modelaciones se alimentan de información de la actividad sectorial, con diferentes grados de agregación, para calcular la demanda total de energía que se requiere en México. 	<p>Los escenarios de descarbonización desarrollados en este estudio se fundamentaron en tres estrategias clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la eficiencia en el uso de la energía. • Electricidad de bajo carbono y electrificación de los usos finales de energía. • Cambio hacia combustibles de bajo carbono desde los sectores: transporte, industria, residencial y comercial. 	<ul style="list-style-type: none"> • La evaluación de la viabilidad técnica de las rutas de descarbonización considera el contexto nacional actual y supuestos realistas sobre recursos locales y alternativas futuras. • Incluye un análisis de inversión y costos requeridos.
Rutas de instrumentación de la NDC en México (INECC, 2017)	Evaluación del potencial de mitigación de medidas sectoriales en línea con las metas de la NDC de México (2030) y su estrategia de largo plazo ^A (2050).	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de medidas que contribuyen a una mayor ambición. • Se incluye un análisis de curvas de costos marginales de abatimiento por sector y subsector. 	<ul style="list-style-type: none"> • Industria. • Petróleo y gas. • Transporte. • Residencial y comercial. • AFOLU. • Residuos. 	Incluye recomendaciones de política, marco normativo y coordinación para la implementación de cada medida.

^A En concordancia con la LGCC, se estableció una meta de 50% de reducción de emisiones de GEI para 2050.

Fuente: Elaboración propia con base en la información de cada estudio presentado.



En el cuadro 8 se abordaron los primeros esfuerzos para el desarrollo de rutas de descarbonización en México. A continuación, se incluye una compilación de los estudios más recientes (2018-2021) que sobre esta materia se han realizado para el país. En este caso, se describen los aspectos más relevantes en torno a sus objetivos, alcances, enfoques metodológicos para el establecimiento de metas y principales hallazgos. Adicionalmente, se hace una reflexión acerca de su utilidad y retos para su instrumentación.

El cuadro 9 muestra los aspectos principales de los ejercicios de modelación de rutas de descarbonización más recientes. En la mayoría de los estudios destaca que las metas ya no se definen a partir de la NDC de México o de la estrategia nacional de largo plazo, sino a partir de un presupuesto de carbono nacional o mediante la meta de emisiones netas cero para 2050, con el objetivo de alinearse al límite de incremento de temperatura media global de 1.5°C. Esto representa un avance en el esfuerzo por incrementar el nivel de ambición de los objetivos.

Cuadro 9. Estudios recientes sobre el desarrollo de rutas y escenarios de descarbonización a escala nacional en México

ESTUDIO	ENFOQUE TÉCNICO	METODOLOGÍA	SECTORES	PRINCIPALES MEDIDAS
<p>Una trayectoria de descarbonización profunda de todos los sectores económicos para México (Bui-ra et al., 2021)</p>	<p>A diferencia de otros estudios, éste se caracteriza por incluir una meta de emisiones netas cero a 2050 (en línea con una trayectoria de entre 1.5°C a 2°C).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se basa en la metodología de la iniciativa DDPP. • Parte de una meta de emisiones netas cero hacia atrás mediante <i>backcasting</i>. • Se basa en suposiciones de las tasas de reemplazo de tecnologías y considera interrelaciones y compensaciones intersectoriales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para electricidad y transporte, se elaboró una modelación detallada a nivel de flota mediante herramientas especializadas y se utilizaron las herramientas Energy PATHWAYS y RIO. • Para industria, edificios y gas y petróleo, se hizo una estimación sistémica basada en la identidad Kaya,^A mediante una herramienta probada que contiene un tablero de mando energético. • Para AFOLU y residuos, se hicieron estimaciones acorde con las variables de estos sectores mediante un tablero de mando.^B 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía renovable sustituye a combustibles fósiles en 2040. • La planeación urbana sigue un modelo de ciudades compactas y bien conectadas. • Rápida penetración de vehículos eléctricos privados y públicos. • Mejora en las prácticas agrícolas y forestales. • Modulación de horarios de carga de la red eléctrica. • Estrategia de eficiencia energética en el sector industrial. • Expansión del uso de energía solar térmica en edificios y viviendas. • Disminución del volumen de los residuos.

ESTUDIO	ENFOQUE TÉCNICO	METODOLOGÍA	SECTORES	PRINCIPALES MEDIDAS
<p>Presupuestos de carbono: Una oportunidad para ampliar la ambición climática del sector eléctrico (GIZ México e Iniciativa Climática de México, 2019)</p>	<p>Este estudio parte de la estimación de un presupuesto de carbono nacional para México, para después calcular el específico para el sector eléctrico. Mediante este enfoque se puede limitar el incremento de temperatura a 1.5°C y estimar metas anuales de reducción para lograr dicho objetivo.</p>	<p>A partir de las trayectorias globales RCP2.6^C y SSPx-1.9,^D se estimó y validó^E el presupuesto de carbono global para 2°C y 1.5°C, respectivamente. En particular, se estimó un presupuesto de carbono para México con base en una asignación de acuerdo con la distribución histórica de sus emisiones respecto a las globales (1.39%).^F De esta forma, se estimó un presupuesto de 22.2 GtCO_{2e} y 8.89 GtCO_{2e} para 2019 y 2100, respectivamente.</p>	<p>Se estimó el presupuesto de carbono para el sector eléctrico para el periodo 2018-2030 a partir del porcentaje actual de las emisiones del sector (18%),^G con respecto al total de emisiones del país.</p> <p>Posteriormente, se modeló la capacidad instalada acumulada por tecnología que permite al sector eléctrico alinearse al presupuesto de carbono de 2°C en el mismo periodo.</p>	<p>De esta capacidad, 82.8% corresponde a tecnologías renovables, mientras que 17.1% a tecnologías convencionales. En particular, las tecnologías renovables variables, como la solar fotovoltaica y la eólica, son las predominantes. Por su parte, la generación distribuida representa 13.7% de la capacidad instalada acumulada a 2032. Además, alcanzar el nivel de emisiones para una trayectoria de 2°C depende del retiro de las plantas carboeléctricas y termoeléctricas, y su sustitución por plantas de ciclo combinado.</p>



ESTUDIO	ENFOQUE TÉCNICO	METODOLOGÍA	SECTORES	PRINCIPALES MEDIDAS
<p>Rutas sectoriales de descarbonización para México a 2030 y proyecciones a 2050 (Iniciativa Climática de México y Carbon Trust, 2020)</p>	<p>Desarrollo de rutas de descarbonización alineadas a presupuestos de carbono de 1.5°C y 2°C para los sectores electricidad, petróleo y gas, y transporte, los cuales representan 51% de las emisiones de GEI en México. Se identificó el potencial de reducción de emisiones de las distintas medidas por sector. Además, se llevó a cabo un análisis de factibilidad técnica y costo-efectividad de las medidas mediante curvas de costos marginales de abatimiento.</p>	<p>Las rutas de descarbonización para los tres sectores se alinearon al modelo de presupuesto de carbono para México elaborado por GIZ México e Iniciativa Climática de México (2019), que se explicó en el caso anterior. La asignación de los presupuestos de carbono para los tres sectores se basó en sus emisiones históricas y prospectivas. Para la modelación de las rutas de descarbonización de cada sector se siguieron distintas metodologías que se explican en la siguiente columna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Para el escenario tendencial del sector eléctrico se utilizaron datos del Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (Prodesen), mientras que el escenario de descarbonización se alineó al presupuesto de carbono de 1.5°C y utilizó el modelo energético PLEXOS. • Se elaboraron tres escenarios para el sector petróleo y gas: <ol style="list-style-type: none"> 1) Con la información de los planes federales del gobierno para la expansión de hidrocarburos. 2) Basado en la <i>teoría de la máxima producción</i>.^H 3) Alineado al presupuesto de carbono de 1.5°C. • Para la modelación del escenario de descarbonización del sector transporte, se utilizó una herramienta llamada Soluciones de Política Energética (adaptado para México por WRI México y Centro Mario Molina). 	<p>Cumplir con un presupuesto de carbono de 1.5°C implicaría, para cada sector:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eléctrico: Duplicar la generación de energía proveniente de fuentes renovables para 2030; retirar las plantas de generación eléctrica a base de carbón y combustóleo, y disminuir el uso de tecnologías de ciclo combinado y la dependencia del gas natural. • Petróleo y gas: 57% de la reducción requerida para 2030 se podría lograr a través de medidas costo-efectivas, como la reducción de fugas de metano derivadas del procesamiento del gas, el incremento en la eficiencia energética en los procesos de refinación de petróleo y apostarle a la cogeneración. • Transporte: un buen manejo de la demanda de transporte que permita disminuir el número de viajes mediante una estrategia de movilidad alineada a un desarrollo urbano compacto y que promueva viajes interconectados; transitar a modos de transporte sostenible, como el transporte público masivo y la movilidad activa, y apostar por el uso de combustibles bajos en carbono, electromovilidad y mayores factores de carga de pasajeros y mercancías.



ESTUDIO	ENFOQUE TÉCNICO	METODOLOGÍA	SECTORES	PRINCIPALES MEDIDAS
<p>Eligiendo el camino correcto: Opciones de bajo costo para fortalecer las metas climáticas de México, logrando beneficios sociales a largo plazo (WRI México, 2019)</p>	<p>Este trabajo tuvo como objetivo identificar el conjunto de medidas sectoriales costo-efectivas que permiten llegar a las metas de mitigación de las NDC de México para 2030 (22% no condicionada y 36% condicionada). Se evaluó también el objetivo de largo plazo establecido en la Ley General de Cambio Climático (50% de reducción de emisiones para 2050).</p>	<p>El análisis se basó en el acoplamiento de los datos de México al modelo EPS, el cual se ha utilizado en diversos países y regiones. La relevancia de este estudio recae en su esfuerzo de recopilación de datos y ejercicio de modelación para los distintos sectores económicos que han sido tomados como referencia en análisis posteriores.</p>	<p>El EPS modela a detalle el comportamiento de los sectores energéticos (electricidad, transporte, industria y edificios) y con menor detalle AFOLU y residuos. De esta manera, permite obtener los impactos esperados en la reducción de emisiones de GEI y demanda energética requerida por sector y tecnología. Además, genera curvas de costos marginales de abatimiento para identificar las medidas más costo-efectivas para la reducción de emisiones. Asimismo, estima co-beneficios a la salud asociados a la mejora en la calidad del aire, derivada de las políticas y medidas evaluadas.</p>	<p>Mediante el ejercicio de modelación se identificó un conjunto de 21 estrategias que permitirían alcanzar la meta condicionada de la NDC de México (36% de reducción respecto a BAU). El escenario tendencial se definió utilizando el Prodesen 2016-2031. Se encontró que los sectores que más contribuyen a la meta son electricidad, transporte e industria, con casi dos tercios de la reducción de emisiones de GEI requerida.</p>

^A Kaya es una identidad que establece que el nivel de emisión total de CO₂ puede expresarse como el producto de cuatro factores: población humana, PIB per cápita, intensidad energética (por unidad de PIB) e intensidad de carbono (emisiones por unidad de energía consumida).

^B Esta herramienta aún se encuentra en desarrollo y en proceso de mejora continua.

^C Trayectoria de emisiones que es probable que limite el incremento de temperatura media global de 2°C hacia 2100. Esta trayectoria se construye con base a los forzamientos radiativos o *radiative forcings* de los GEI. RCP son las siglas en inglés de las trayectorias de concentración representativas.

^D Trayectoria socioeconómica compartida que es probable que limite el incremento de la temperatura media global a 1.5°C hacia 2100.

^E Contra otras estimaciones internacionales de presupuesto de carbono global (IPCC, como las de INECC de la nota G. 2014; Rogelj *et al.*, 2015; Millar y Friedlingstein, 2018; Gignac y Mathews, 2015).

^F De acuerdo con los datos del Potsdam Institute for Climate Impact Research.

^G *Inventario Nacional de Emisiones y Compuestos de Efecto Invernadero (1990-2015)* (INECC, 2018).

^H La cual se basa en que la producción de recursos naturales sigue una curva gaussiana, en la que el pico de producción depende de las reservas existentes y los descubrimientos futuros.

Fuente: Elaboración propia con base en los estudios contenidos en el cuadro.



Buira y sus colaboradores (2021) concluyen que existen menos opciones tecnológicas para limitar el incremento de temperatura media global a 1.5°C mediante una meta de emisiones de GEI netas cero a 2050, en comparación a 2°C. Además, hacen recomendaciones de política para el corto y mediano plazos para alcanzar el objetivo de neutralidad del carbono y poder evitar el incremento de emisiones por el retraso o retroceso de las acciones, tecnologías y políticas de mitigación (*emissions lock-in*).

Además, puntualizan que el rol clave del sector AFOLU para alcanzar la reducción de emisiones requerida enfatiza la necesidad de ampliar la investigación en opciones de descarbonización para dicho sector, incluyendo la interrelación entre el manejo forestal, la productividad de cultivos, la inclusión social y los patrones de consumo. En este sentido, será crucial seguir integrando el sector en futuros análisis para el desarrollo de trayectorias compatibles con el Acuerdo de París en México. Asimismo, el Compromiso de Deforestación Neta Cero requerirá de mecanismos efectivos de gobernanza, monitoreo y transparencia en el manejo de los bosques (Buira *et al.*, 2021).

Por otro lado, GIZ México e Iniciativa Climática de México (2019) estimaron que si el país continúa con el mismo ritmo de emisiones y tasa de crecimiento media anual, su presupuesto de carbono se agotará en 2040. Asimismo, concluyeron que para cumplir con un escenario alineado al presupuesto de carbono de 1.5°C, será necesario explorar opciones tecnológicas como el almacenamiento de energía; acciones de eficiencia energética; el desplazamiento y control de la demanda energética; modular los horarios de carga de la red eléctrica, y considerar la tasa de penetración de la energía eléctrica requerida para el despliegue de vehículos eléctricos.

Por su parte, Iniciativa Climática de México y Carbon Trust (2020) reconocen que se requiere fortalecer la política nacional y subnacional para que México pueda contribuir en la reducción de emisiones, en línea con una trayectoria por debajo de los 2°C e idealmente 1.5°C. Desde el sector eléctrico, la curva de costo de abatimiento marginal elaborada para el escenario de descarbonización indica que las energías geotérmica, eólica y solar fotovoltaica son rentables (costos negativos), debido a que los ahorros de combustible son mayores que la inversión requerida para cada tecnología. Adicionalmente, desarrollar un marco regulatorio y optar por mecanismos de financiamiento que apoyen la expansión de las tecnologías de almacenamiento y generación distribuida pueden representar ahorros por la reducción de la infraestructura requerida para la transmisión y distribución.

Para el sector petróleo y gas, las medidas de captura, almacenamiento y reutilización en la cadena de producción de petróleo y gas representan una menor rentabilidad, ya que dependen de inversiones que son superiores a los beneficios económicos. Éste es el caso de la reutilización del gas natural (compresión y envío a tierra), el cual únicamente sería viable mediante esquemas de financiamiento internacional, pues la tecnología aún no es tan accesible. Además, se identificó que para 2030-2050, el agotamiento natural de los recursos



petrolíferos convencionales podría contribuir con la reducción de las emisiones del sector. No obstante, evitar la extracción y uso de fósiles no convencionales será clave para mantenerse en línea con la trayectoria de descarbonización profunda en el mediano y largo plazos (Iniciativa Climática de México y Carbon Trust, 2020).

Desde el sector transporte, es importante mencionar que a pesar de que la electromovilidad tiene un potencial de mitigación considerable, podría requerir de inversiones significativas, en comparación con el manejo de la demanda de transporte. Las medidas propuestas para el escenario de descarbonización resultan en una reducción de 34% de la demanda energética del sector y de 80% de las emisiones de GEI para 2050. No obstante, estas medidas se ajustan al escenario correspondiente a los 2°C y superan aquel de 1.5°C. Esto revela la necesidad de acciones inmediatas. Finalmente, las medidas de descarbonización del sector transporte generarían importantes co-beneficios en la salud gracias a la reducción del material particulado (Iniciativa Climática de México y Carbon Trust, 2020).

En conclusión, se debe priorizar el establecimiento de una visión alineada a 1.5°C, ya sea mediante objetivos de emisiones netas cero hacia mediados de siglo o un presupuesto de carbono, así como por medio del desarrollo de rutas de descarbonización, que sirvan para orientar las políticas a nivel nacional y la implementación de medidas específicas. Sin embargo, es importante recordar que los ejercicios de modelación no plasman la realidad socioeconómica de un país o región, por lo que requieren de mecanismos de gobernanza efectivos; vinculación con el marco legal y otros instrumentos de planeación; sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV), y una transición justa, que promueva la equidad de género y la participación ciudadana.

En este sentido, entre las principales barreras para la implementación de las medidas de mitigación, WRI México (2019) identificó las limitaciones en recursos financieros, la falta de coordinación interinstitucional y la falta de capacidades. Asimismo, concluyó que para que el país pueda alinearse a las metas de largo plazo del Acuerdo de París, se deben de promover políticas sectoriales, asegurar el financiamiento, desarrollar capacidades y promover la innovación.

La siguiente sección aborda una introducción al marco legal sobre las atribuciones climáticas de las entidades federativas en México, de acuerdo con la LGCC, así como una categorización, avances y brechas en cuanto a los instrumentos de política climática a escala subnacional. Posteriormente, se detallan los enfoques técnicos y metodologías para el desarrollo de rutas de descarbonización en cinco estados, y se presenta un análisis comparativo respecto a sus distintos componentes.



RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN A NIVEL SUBNACIONAL

En México, el marco legislativo ambiental señala que es deber de las entidades federativas formular, conducir y evaluar su política de cambio climático, adecuándola al marco legal existente o, de ser necesario, crear un nuevo ordenamiento que permita instrumentar la LGCC en los ámbitos estatal y municipal de manera continua y a largo plazo.

Los estados en México tienen obligaciones específicas referentes a la planeación, instrumentación, gestión, evaluación y vigilancia del cumplimiento de la política nacional de cambio climático. Éstas se encuentran contenidas, en lo general, en el artículo 8 de la LGCC, en concordancia con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), y en lo particular, en el artículo 34 del mismo ordenamiento, que atribuye a las entidades de la administración pública federal, a los estados y municipios, la promoción, el diseño y la elaboración de políticas y acciones de mitigación. Asimismo, el artículo 75 establece las obligaciones de las entidades federativas y municipios para proporcionar al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) los datos, documentos y registros relativos a la información relacionada con las categorías de fuentes emisoras previstas por la fracción XIII del artículo 7 de la LGCC.

Cuadro 10. Atribuciones estatales establecidas en el artículo 8 de la LGCC

ARTÍCULO 8. ATRIBUCIONES DE LOS ESTADOS	Formular, conducir y evaluar la política estatal de cambio climático.
	Instrumentar acciones de mitigación y adaptación.
	Elaborar e instrumentar su programa de cambio climático con participación social.
	Elaborar e integrar el inventario estatal de emisiones de GEI.
	Elaborar, publicar y actualizar el atlas de riesgo estatal.
	Promover el fortalecimiento de las capacidades institucionales y sectoriales.
	Gestionar y administrar fondos estatales para implementar las acciones de cambio climático.

Fuente: Elaboración propia con base en la LGCC (DOF, 2020).

En este marco, el surgimiento de una ley estatal de cambio climático funciona como elemento fundamental para crear las bases institucionales, económicas, de información, planeación, evaluación y vigilancia para implementar de manera efectiva la política climática estatal, además de las sanciones que pudieran derivarse por falta de cumplimiento. Es importante



mencionar que, como parte de estas obligaciones, el “promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales” ha sido esencial para avanzar hacia el desarrollo y mejora de la política climática en México.

Recientemente, el Diagnóstico de Capacidades Institucionales para la Acción Climática (DCIAC) 2020-2021 de los gobiernos subnacionales recaudó y analizó información sobre la existencia de instrumentos de política, normativos e institucionales en materia de cambio climático. El DCIAC fue avalado por la Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales (ANAAE) y coordinado por Jalisco. La principal fuente de información en la que se basó dicho diagnóstico fue una encuesta dirigida a los enlaces de las diferentes secretarías ambientales estatales de las 32 entidades federativas en México.

Los instrumentos de acción climática que evalúa el diagnóstico se dividen en cinco:

- 1) Aquellos que corresponden al marco legal, como las leyes estatales de cambio climático.
- 2) Los arreglos institucionales, como las comisiones intersecretariales para la acción climática (CIAC).
- 3) Los instrumentos de política pública, como los planes estatales de cambio climático; inventarios de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI), y sistemas de MRV.
- 4) Los instrumentos financieros, como los fondos ambientales estatales y acceso a fuentes internacionales.
- 5) Aquellas herramientas que contribuyen al cumplimiento de metas climáticas estatales ambiciosas, como las rutas de descarbonización.

En el cuadro 11 se establece la división de instrumentos, de acuerdo con la categoría correspondiente.



Cuadro 11. Instrumentos de acción climática por categoría evaluados en el DCIAC 2020-2021

MARCO LEGAL	ARREGLOS INSTITUCIONALES	INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA	INSTRUMENTOS FINANCIEROS	INSTRUMENTOS PARA LA AMBICIÓN CLIMÁTICA ESTATAL
<ul style="list-style-type: none"> ● Ley Estatal de Cambio Climático ● Reglamento Estatal 	<ul style="list-style-type: none"> ● Comisión Intersecretarial para la Acción Climática ● Consejo Social para el Cambio Climático 	<ul style="list-style-type: none"> ● Plan Estatal de Desarrollo ● Estrategia Estatal de Cambio Climático ● Plan Estatal de Cambio Climático ● Inventario Estatal de GyCEI ● Planes regional y municipales para el cambio climático ● Sistema MRV ● Estrategia Estatal REDD+ ● Atlas Estatal de Riesgo Climático 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fondo Ambiental Estatal ● Fondos internacionales para proyectos de acción climática ● Financiamiento privado ● Cooperación internacional para el desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Presupuesto estatal de carbono ● Escenarios estatales de mitigación ● Rutas estatales de descarbonización

Fuente: Elaboración propia con base en la información del DCIAC 2020-2021 (Semadet, 2021).

Los resultados del último DCIAC 2020-2021 arrojaron que, de los 32 estados, 26 cuentan con una ley en la materia y el mismo número tiene su inventario de GyCEI; además, 22 cuentan con un PECC. Si bien la mayoría de las entidades federativas tienen la ley y el inventario mencionados, es importante aclarar que la vinculación a programas estatales y la actualización de estos instrumentos es clave para la implementación de medidas climáticas efectivas. Asimismo, aunque 28 estados cuentan con una CIAC, únicamente cinco tienen reglas de operación vigentes, han sesionado en los últimos cuatro años y, además, incluyen a un Consejo Social de Cambio Climático. Conforme este panorama, fortalecer las CIAC es clave para asegurar la transversalidad de la acción climática a nivel estatal.

En cuanto a los instrumentos para el establecimiento de metas climáticas ambiciosas, sólo un tercio de los estados cuenta con rutas de descarbonización. Por ello, resulta necesario enfocar esfuerzos para incrementar la ambición climática mediante este tipo de herramientas.



A continuación se presentan cinco casos de rutas de descarbonización en el ámbito estatal, con sus respectivas metodologías y enfoques técnicos para el establecimiento de sus metas.

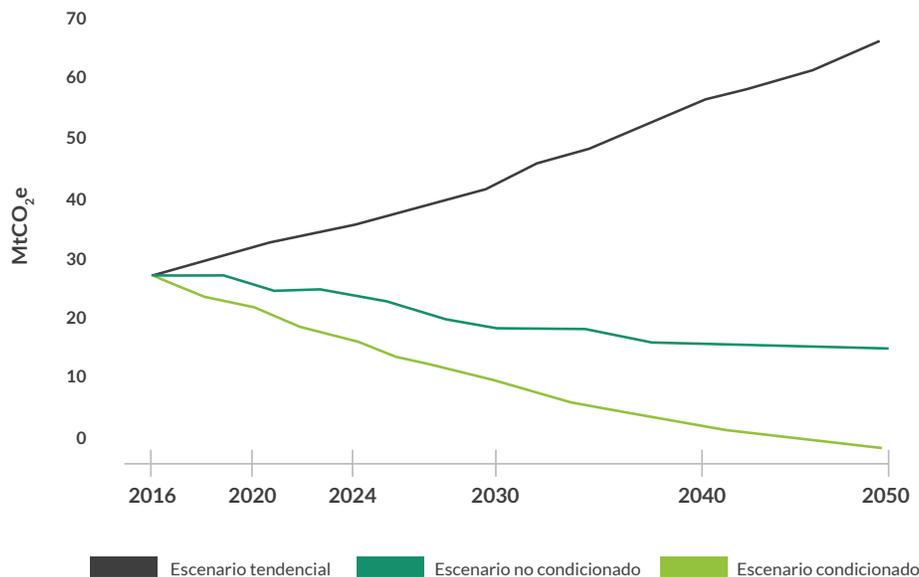
CIUDAD DE MÉXICO: ESTRATEGIA LOCAL DE ACCIÓN CLIMÁTICA 2021-2050

La Ciudad de México (CDMX) recientemente publicó su Estrategia Local de Acción Climática (ELAC) 2021-2050, la cual se basó en la modelación de escenarios de descarbonización tomando en cuenta un presupuesto de carbono sexenal y una meta de emisiones netas cero. A continuación, se presentan los pasos y enfoques técnicos utilizados para el desarrollo de la ruta de descarbonización de la CDMX.

SELECCIÓN DE ENFOQUES TÉCNICOS PARA LA MODELACIÓN DE ESCENARIOS DE DESCARBONIZACIÓN

Para la modelación de los distintos escenarios de descarbonización, la Secretaría de Medio Ambiente (Sedema) de la CDMX se apoyó en la asesoría técnica de Iniciativa Climática de México. El ejercicio de modelación incluyó tres escenarios: tendencial, no condicionado y condicionado, como se muestra a continuación.

Figura 8. Trayectoria de emisiones para la CDMX 2016-2050



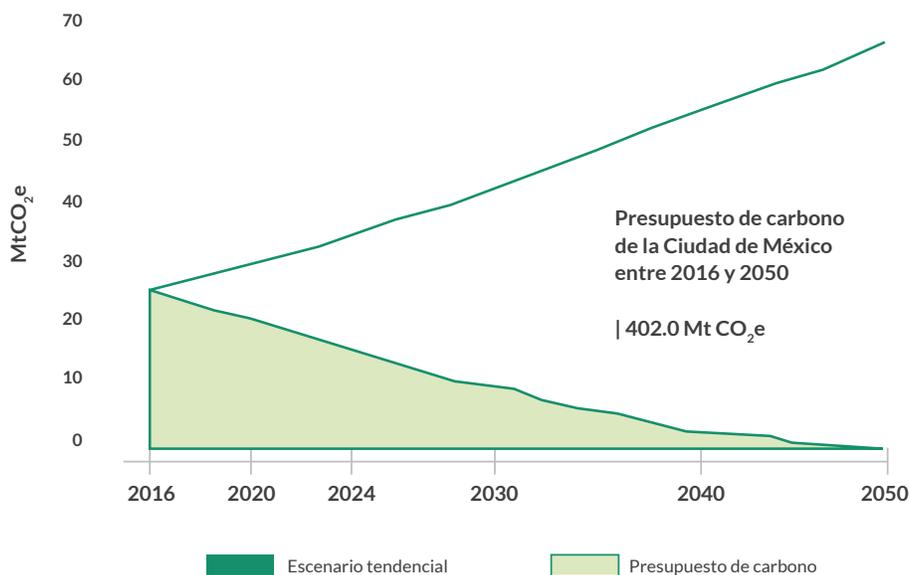
Fuente: Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050 (Sedema, 2021).



- **Escenario tendencial** (BAU): Es aquel que parte del año base y se proyecta hacia el futuro, tomando en cuenta el crecimiento de las emisiones reportadas en los últimos inventarios. Aquí no se considera realizar acción adicional alguna para disminuir las emisiones GEI.
- **Escenario de mitigación actual o no condicionado:** Incluye los programas, las medidas y los proyectos que se llevarán a cabo con recursos propios y no condicionados al apoyo internacional o financiamiento climático adicional.
- **Escenario ambicioso de cero emisiones:** Está alineado a una trayectoria de reducción de emisiones acorde a la meta global de 1.5°C y se encuentra condicionado a la cooperación técnica internacional, al acceso a recursos financieros adicionales y a la transferencia de tecnología.

Con el propósito de establecer una ruta clara de acción climática ambiciosa, en línea con la meta de 1.5°C, se estimó un presupuesto de carbono para la CDMX a partir de la asignación soberana, desde el presupuesto de carbono estimado a nivel nacional (GIZ México e Iniciativa Climática de México, 2019); es decir, se tomó la parte proporcional de emisiones que realiza la CDMX respecto al total nacional actual. En este ejercicio de modelación se asumió que el presupuesto de carbono sería igual a cero en 2050, para ser consistente con una meta de emisiones netas cero para ese año.

Figura 9. Presupuesto de carbono y trayectoria de emisiones en el escenario de 1.5°C

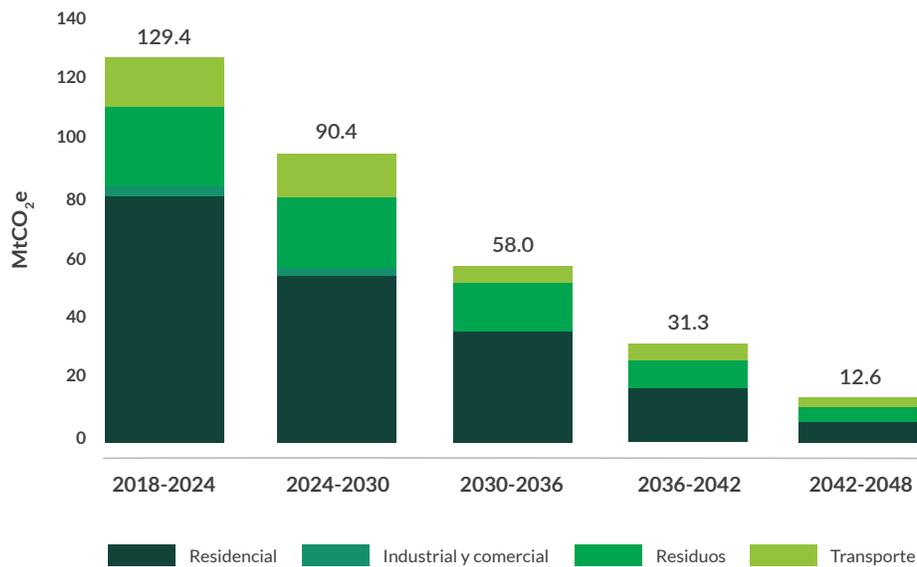


Fuente: Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050 (Sedema, 2021).



Después se estimaron presupuestos de carbono sexenales, asumiendo un esfuerzo de descarbonización equivalente por sexenio. Finalmente, se determinaron los presupuestos de carbono por sector, con base en el porcentaje de emisiones para cada uno de los sectores respecto al total de emisiones de GEI de la CDMX. Los sectores que se incluyeron fueron residencial, industrial y comercial, residuos y transporte. Es importante mencionar que los presupuestos sectoriales asumen que la reducción de emisiones de la CDMX a nivel sectorial será constante, pronunciada y uniforme en el corto, mediano y largo plazos.

Figura 10. Presupuestos de carbono sexenales y por sector en línea con la meta de 1.5°C, 2018-2048 (MtCO₂e)



Fuente: Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050 (Sedema, 2021).

DEFINICIÓN DE METAS DE DESCARBONIZACIÓN

A partir de los escenarios definidos mediante el presupuesto de carbono, se seleccionaron metas de descarbonización tomando como año base 2016, de acuerdo con el inventario de emisiones de GEI disponible al momento de realizar la estimación. A continuación se presentan las metas para los escenarios no condicionado y condicionado.



Cuadro 12. Metas de descarbonización para la Ciudad de México, 2016-2050

COMPROMISOS Y METAS NO CONDICIONADAS	COMPROMISOS Y METAS CONDICIONADAS
Reducción de emisiones de GEI respecto a las emisiones anuales de 2016	Reducción de emisiones de GEI respecto a las emisiones anuales de 2016
2024: Reducción de 10%	2024: Reducción de 32%
2030: Reducción de 24%	2030: Reducción de 56%
2040: Reducción de 36%	2040: Reducción de 83%
2050: Reducción de 43%	2050: Neutralidad en carbono

Fuente: Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050 (Sedema, 2021).

SELECCIÓN DE EJES DE ACCIÓN CLIMÁTICA

En la ELACC se identificaron seis ejes de acción climática que se enlistan a continuación. Para cada uno se definieron metas, acciones e indicadores para su seguimiento y medición.

Cuadro 13. Ejes de acción de la Estrategia Local de Acción Climática de la CDMX

EJE	DESCRIPCIÓN
1. Movilidad integrada y sustentable	<p>Plantea, como objetivo general, transformar y consolidar un sistema de movilidad de bajas emisiones, accesible, integrado, incluyente, eficiente y seguro, que priorice la movilidad activa y las redes de transporte público. Para este propósito traza tres líneas de acción:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Gestionar la demanda y promover el cambio hacia modelos limpios de transporte público. 2) Impulsar la transición tecnológica a vehículos públicos y privados cero emisiones. 3) Consolidar un sistema de movilidad integrado y accesible.
2. Ciudad solar	<p>Su objetivo es incrementar la eficiencia energética, democratizar la energía y garantizar un futuro energético equitativo, inteligente y limpio a través de tres líneas de acción:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fomentar hogares solares eficientes, flexibles, inteligentes y equitativos energéticamente. 2) Impulsar nuevos esquemas de eficiencia, digitalización y uso de energías renovables en edificios, comercios, servicios e industria. 3) Descarbonizar la matriz energética de la Ciudad de México; es decir, experimentar una transformación radical hacia fuentes eficientes de energía renovable a gran escala.



<p>3. Basura cero</p>	<p>Establece como objetivo fortalecer la prevención, reducción, reúso, reciclaje y aprovechamiento de los residuos en el marco transversal de la economía circular, definiendo tres líneas de acción:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Prevenir la generación de los residuos y rediseñar bienes y servicios. 2) Gestionar de manera sustentable los residuos sólidos de la construcción. 3) Aprovechar el potencial energético de los residuos. 4) Mejorar el tratamiento sustentable de aguas residuales.
<p>4. Manejo sustentable del agua y rescate de ríos y cuerpos de agua</p>	<p>Precisa como objetivo general el mantener, conservar, restaurar y manejar integralmente el sistema hidrológico en la ciudad a nivel cuenca y subcuenca, así como asegurar el balance hídrico y promover el uso sustentable del agua, que permita proveer agua suficiente y de calidad para todas las personas, y proteger la biodiversidad. Para lograrlo, define tres líneas de acción:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Mejorar el sistema de suministro en cantidad y calidad. 2) Promover la recarga y el uso sustentable del acuífero, así como y restaurar y conservar las cuencas hidrológicas, los ríos y los cuerpos de agua. 3) Reducir los riesgos hídricos asociados al cambio climático.
<p>5. Revegetación del campo y la ciudad</p>	<p>Como objetivo general, persigue restaurar, conservar, reforestar y conectar el suelo de conservación, las áreas naturales protegidas, las áreas de valor ambiental y las áreas verdes urbanas para proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, por medio de las siguientes líneas de acción:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Impulsar las acciones de conservación y restauración del suelo de conservación, las áreas naturales protegidas y las áreas de valor ambiental. 2) Fomentar y fortalecer los sistemas agroalimentarios sustentables. 3) Revegetar las zonas urbanas y recuperar las áreas verdes a través de la promoción de infraestructura verde y sus beneficios.
<p>6. Capacidad adaptativa y resiliencia urbana</p>	<p>El objetivo de este eje es fortalecer la capacidad adaptativa de la ciudad y sus comunidades, mejorando la prevención y respuesta territorial ante los impactos climáticos. Se espera alcanzar esta meta mediante las siguientes líneas de acción:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Impulsar un ordenamiento territorial incluyente y equitativo hacia una ciudad sustentable y resiliente. 2) Desarrollar una estrategia ante riesgos, impactos y vulnerabilidades al cambio climático, por medio de la implementación de sistemas de alerta temprana y protocolos de prevención y acción frente a peligros epidemiológicos, hidrometeorológicos y climáticos. 3) Adoptar y transversalizar los principios de capacidad adaptativa y resiliencia.

Fuente: Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050 (Sedema, 2021).



PROGRAMA DE ACCIÓN CLIMÁTICA 2021-2030

En el marco de la ELAC de la CDMX, el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM) funge como instrumento de implementación para dar cumplimiento a las metas climáticas de la ciudad en el periodo 2021-2030, incluyendo metas intermedias en 2024, así como el compromiso de largo plazo en materia de adaptación. De la misma manera, responde al compromiso de estar en línea con la NDC de México ante el Acuerdo de París, los ODS de la Agenda 2030, la Nueva Agenda Urbana y el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres, bajo un marco de derechos humanos e inclusión.

Además, presenta medidas de acción climática concretas en línea con lo que establece la Constitución Política de la Ciudad de México, el Plan General de Desarrollo 2020-2040 y el Programa Ambiental y de Cambio Climático para la Ciudad de México 2019-2024. Los criterios de priorización utilizados para seleccionar las medidas que integran el PACCM fueron los siguientes:

- Medidas con alto potencial para aumentar la resiliencia urbana y la capacidad adaptativa.
- Medidas con alto potencial de mitigación de emisiones de CO₂ y otros GEI.
- Medidas presentadas en programas de gobierno e instrumentos de planeación vigentes y aplicables.
- Medidas con presupuesto y financiamiento asignado.
- Medidas priorizadas mediante el uso de la herramienta de [Selección y Priorización de Acciones](#) (ASAP por sus siglas en inglés).
- Medidas costo-efectivas priorizadas en la curva de costo medio de abatimiento.

SISTEMA DE MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN

Se desarrolló un sistema de MRV para dar seguimiento y monitorear las medidas tanto de mitigación como de adaptación. El Sistema de Seguimiento (SS-PACCM) es una herramienta en línea mediante la cual las distintas dependencias pueden reportar sus avances en la materia por medio de indicadores de gestión, impactos y resultados. El SS-PACCM busca medir el desempeño de la política climática y, debido a su carácter participativo, permite la mejora continua de las medidas.



CONDICIONES HABILITADORAS PARA UNA MAYOR AMBICIÓN

La ELACC cuenta con un capítulo que muestra las condiciones habilitadoras para una acción climática ambiciosa; es decir, para alcanzar los objetivos de los escenarios climáticos alineados a las metas del Acuerdo de París de largo plazo. Las condiciones habilitadoras identificadas son:

- Gestión pública coordinada.
- Coordinación vertical y horizontal.
- Marco legal e institucional de mayor alcance.
- Acción climática participativa.
- Transparencia climática y rendición de cuentas.
- Financiamiento climático.

Además, la estrategia de la CDMX contiene una sección sobre política climática incluyente, que busca transversalizar y dar prioridad a los temas de perspectiva de género, participación ciudadana y transición justa, los cuales son clave para lograr una transición económica centrada en las personas, que maximice los co-beneficios sociales y minimice cualquier impacto social negativo.

El PACCM, por su parte, incluye la igualdad de género en sus objetivos y define acciones para garantizar la perspectiva de género en la política climática, como el Decálogo de Género y Medio Ambiente; seis medidas transversales de género, y una medida transversal de inclusión y derechos humanos. En este sentido, la Ciudad de México es un referente para la formulación de las políticas climáticas con enfoque de igualdad de género e inclusión social.

YUCATÁN Y JALISCO: RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN Y PRESUPUESTO DE CARBONO PARA EL SECTOR ELÉCTRICO

A fines de 2021, ambos estados presentaron sus rutas de descarbonización alineadas a un presupuesto de carbono para el sector eléctrico. En el marco de la colaboración de Jalisco y Yucatán con el proyecto Conecc-GIZ de IKI Alliance, la Iniciativa Climática de México estimó el presupuesto de carbono de dichos estados, el cual limita las emisiones de CO₂e en línea con un aumento máximo de temperatura media global de 1.5°C a 2030 y 2050.



REVISIÓN DEL MARCO JURÍDICO E INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN DE LA ENTIDAD SUBNACIONAL

Antes de estimar el presupuesto de carbono y desarrollar las rutas de descarbonización estatales, fue necesario llevar a cabo una revisión del marco jurídico y sus instrumentos de planeación. Esto para identificar si el gobierno subnacional había incluido en sus objetivos sexenales metas de mitigación de cambio climático. De esta manera, las líneas de acción y metas actuales permitieron establecer un punto de partida para la identificación de medidas de mitigación y visualizar su alineación con los instrumentos públicos. Si se incluyen metas y líneas de acción climática en dichos instrumentos, es más factible la implementación de las medidas identificadas.

Para llevar a cabo dicha revisión se puede recurrir a:

- 1) El portal de la Suprema Corte de Justicia de la Nación.
- 2) La plataforma de información sobre la implementación de la política climática subnacional del INECC o el DCIAC.
- 3) La página web de la entidad subnacional.
- 4) La retroalimentación con los distintos actores estatales de las secretarías sectoriales.

ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO DE CARBONO Y METAS DE MITIGACIÓN

La estimación del presupuesto de carbono estatal se realizó con base en la contribución histórica del país y el porcentaje de emisiones que representa cada estado, así como el porcentaje de emisiones que representa el sector eléctrico en cada entidad. De esta forma, se estimaron también los presupuestos de carbono para el sector eléctrico de Yucatán y Jalisco, como se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14. Presupuestos de carbono estatales y del sector eléctrico para Yucatán y Jalisco en el periodo 2019-2100

ESTADO	PRESUPUESTO DE CARBONO ESTATAL (MTCO ₂ E)	PRESUPUESTO DE CARBONO PARA EL SECTOR ELÉCTRICO (MTCO ₂ E)	EMISIONES DEL SECTOR ELÉCTRICO RESPECTO AL TOTAL ESTATAL (%)
Yucatán	153.16	34.7	23
Jalisco	527.29	112.61	21.4

Fuente: Elaboración propia con base en GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021 y 2021a).

Los escenarios que se modelaron en este ejercicio de rutas de descarbonización del sector eléctrico para ambos estados fueron: 1) tendencial y 2) alineado al presupuesto de carbono de 1.5°C. Tomando en cuenta los valores tendenciales de emisiones de GEI de ambos estados y los valores anuales de sus presupuestos de carbono, se necesitaría una reducción de emisiones de CO₂e respecto al escenario tendencial, como se muestra en el cuadro 15, para alinearse a la meta de 1.5°C.

Cuadro 15. Metas de descarbonización que se deberían alcanzar para cumplir con el presupuesto de carbono estatal alineado a la meta de 1.5°C

AÑO	METAS DE DESCARBONIZACIÓN (%)	
	YUCATÁN	JALISCO
2024	39	25
2030	55	41
2050	90	81

Fuente: Elaboración propia con base en GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021 y 2021a).

ELABORACIÓN DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN PARA EL SECTOR ELÉCTRICO

La elaboración de dichas rutas en Yucatán y Jalisco se basó en los siguientes pasos:

- 1) Diagnóstico del sector eléctrico a nivel subnacional.
- 2) Identificación de la capacidad instalada para la generación eléctrica.
- 3) Estimación del potencial de generación distribuida.
- 4) Elaboración del catálogo de medidas de mitigación.
- 5) Factibilidad financiera y política de las medidas.

Con base en estos pasos, se identificó un catálogo de medidas de mitigación que consideraba los potenciales de reducción de emisiones y factibilidad de implementación para el consumo eléctrico de los sectores residencial, comercial, industrial y público. Las medidas identificadas para lograr la reducción de emisiones requeridas se muestran en el cuadro 16.



Cuadro 16. Medidas de mitigación identificadas para las rutas de descarbonización del caso de Yucatán y Jalisco en el sector eléctrico

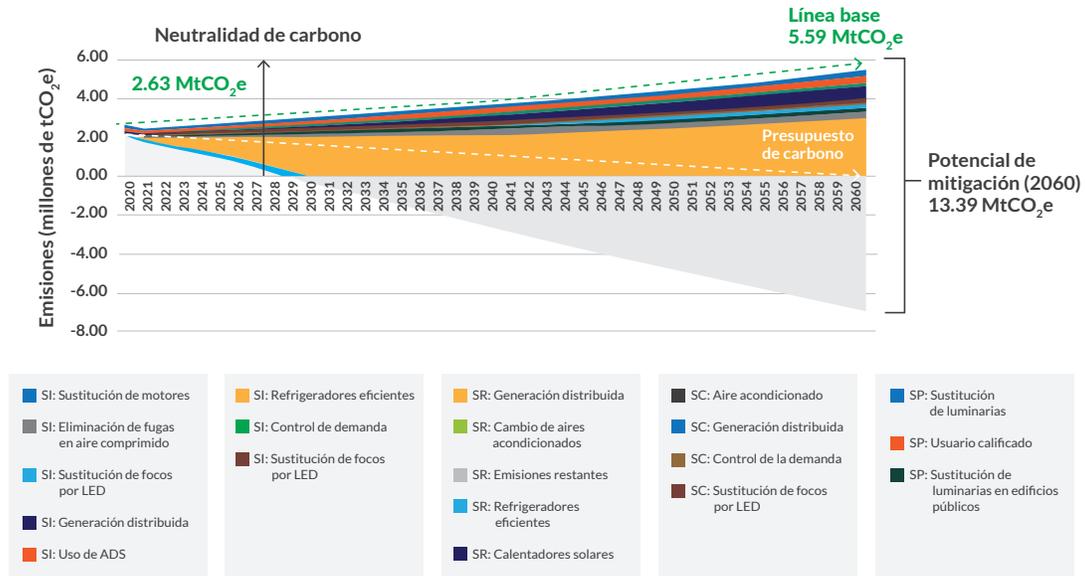
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	SECTOR	MEDIDA
Eficiencia energética	Disminución de la intensidad energética.	Público	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de focos por LED en edificios públicos. • Sustitución de luminarias en el servicio público.
		Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de motores. • Uso de ASD. • Eliminación de fugas en aire comprimido. • Cambio a refrigeradores eficientes. • Sustitución de focos por LED. • Control de la demanda.
		Comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de focos por LED. • Cambio de aires acondicionados. • Control de la demanda.
		Residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio a refrigeradores eficientes. • Cambio de aires acondicionados. • Calentadores solares para agua caliente.
Generación distribuida	Introducción de tecnología solar fotovoltaica a pequeña escala interconectada a un circuito de distribución que posibilita la interconexión con la red eléctrica.	Público	<ul style="list-style-type: none"> • Generación distribuida en edificios públicos.
		Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Generación distribuida en edificios industriales.
		Comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Generación distribuida en edificios comerciales.
		Residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Generación distribuida en edificios residenciales.
Usuario calificado	Registro de edificios ante la Comisión Reguladora de Energía por medio del esquema de suministradores calificados con tarifas verdes, que certifican un mayor consumo de energías renovables en la matriz del consumidor.	Público	<ul style="list-style-type: none"> • Registro de edificios públicos y puntos de carga como usuarios calificados.

Fuente: GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021b).



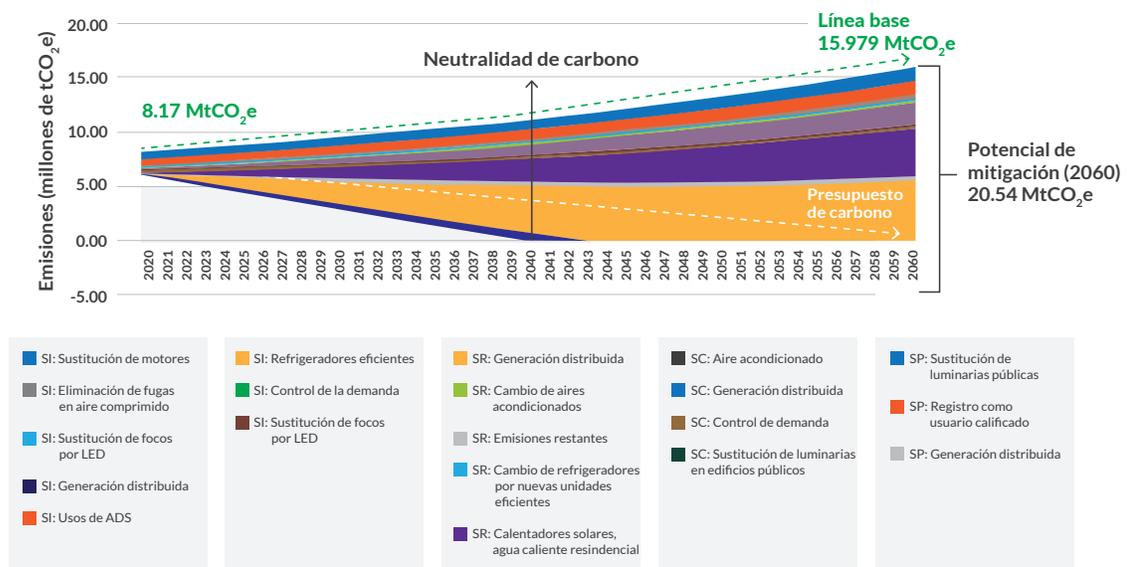
A continuación, se muestran las rutas de descarbonización para Yucatán y Jalisco y la reducción de emisiones de GEI de sus respectivas medidas de mitigación.

Figura 11. Medidas de mitigación para el sector eléctrico de Yucatán



Fuente: Hoja técnica sobre el desarrollo del presupuesto de carbono y ruta de descarbonización para el sector eléctrico de Yucatán (GIZ México e Iniciativa Climática de México, 2021c).

Figura 12. Medidas de mitigación para el sector eléctrico de Jalisco



Fuente: Hoja técnica sobre el desarrollo del presupuesto de carbono y ruta de descarbonización para el sector eléctrico de Jalisco (GIZ México e Iniciativa Climática de México, 2021d).

Se concluyó que mediante estas medidas se podría llegar a emisiones netas cero en este sector para 2028 en el caso de Yucatán y 2040 para Jalisco. Sin embargo, si continuará la tendencia actual de consumo eléctrico, el presupuesto de carbono para los dos estados se podría agotar desde 2030.

COSTOS MARGINALES DE ABATIMIENTO DE GEI PARA MEDIDAS SECTORIALES

En línea con este esfuerzo, la Iniciativa Climática de México y el Centro Mario Molina (2022) identificaron las medidas necesarias para cumplir con el presupuesto de carbono de Yucatán y Jalisco a 2030 y 2050, respectivamente, para los distintos sectores: eléctrico, transporte, industria, AFOLU y residuos. Como parte de este análisis, se calcularon los costos marginales de abatimiento de GEI para todas las medidas analizadas, incluyendo la inversión, los costos de operación y los ahorros por la implementación de dichas medidas. Los principales hallazgos de este análisis se enlistan a continuación:

- La conservación de áreas naturales protegidas es clave para mantener e incrementar los niveles de absorción de dióxido de carbono.
- Las medidas de eficiencia energética tienen el potencial de generar beneficios económicos en el sector industrial, residencial, comercial y público.
- La electromovilidad es cada vez más rentable gracias al apoyo político internacional y la reducción de costos.
- El potencial de energía renovable aún no ha sido aprovechado en su totalidad. En las estimaciones a 2050 se tomó en cuenta 4% y 6% del potencial solar posible y 30% y 60% del eólico para Yucatán y Jalisco, respectivamente.
- En este sentido, el hidrógeno verde representa una vía tecnológica novedosa con gran potencial de generación de energía limpia.

CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

Algunos retos posteriores al desarrollo de las rutas de descarbonización y la implementación de las medidas de mitigación a escala subnacional son: crear un sistema de MRV, fortalecer el marco jurídico para una política de presupuesto de carbono y recuperar el desarrollo de la economía posterior a la pandemia de Covid-19. Se destacó, además, que llevar a cabo estas medidas no es responsabilidad de los gobiernos estatales únicamente, por lo que es crucial que los sectores público, privado y social puedan contribuir con éstas y recibir sus beneficios. Debido a lo anterior, la difusión y la socialización de las opciones de descarbonización, así como sus co-beneficios, es fundamental para involucrar a los distintos actores y garantizar una implementación efectiva bajo esquemas participativos y colaborativos.



QUINTANA ROO Y QUERÉTARO: TRAYECTORIAS DE DESCARBONIZACIÓN

En 2021, Quintana Roo y Querétaro desarrollaron sus trayectorias de descarbonización con el acompañamiento de distintas organizaciones internacionales, entre las que se encuentran The Climate Group, Winrock International y Center for Climate Strategy, en coordinación con las secretarías de medio ambiente de ambos estados. Bajo la iniciativa de la Coalición Under2, ambas entidades se comprometieron a establecer metas y acciones que contribuyan a limitar el incremento de la temperatura media global a 2°C.

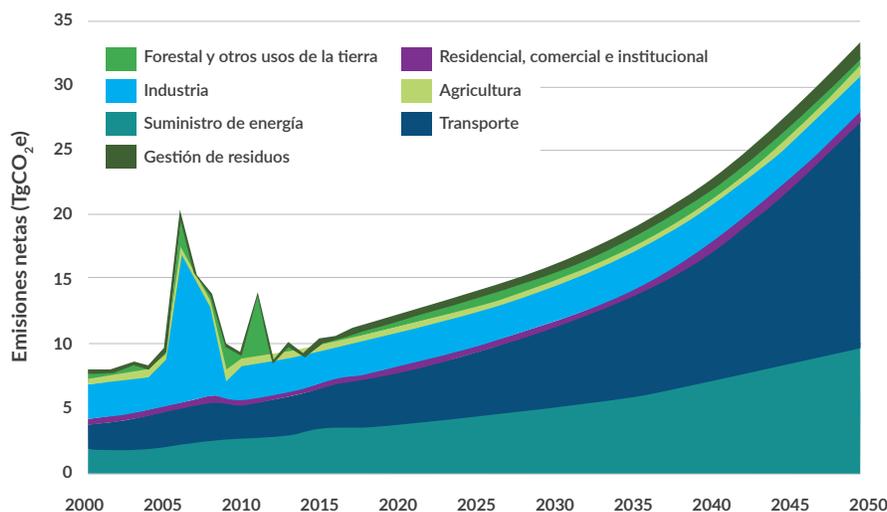
A continuación se muestran los pasos del proceso para el desarrollo de las trayectorias de descarbonización de Quintana Roo y Querétaro, así como sus impactos esperados.

DESARROLLO DE LA LÍNEA BASE

La línea base consiste en una serie de datos históricos proyectados a futuro sobre la producción y el consumo de energía, recursos naturales y uso de suelo en los distintos sectores, que refleja las condiciones esperadas en el escenario BAU y pueden utilizarse para estimar emisiones de GEI.

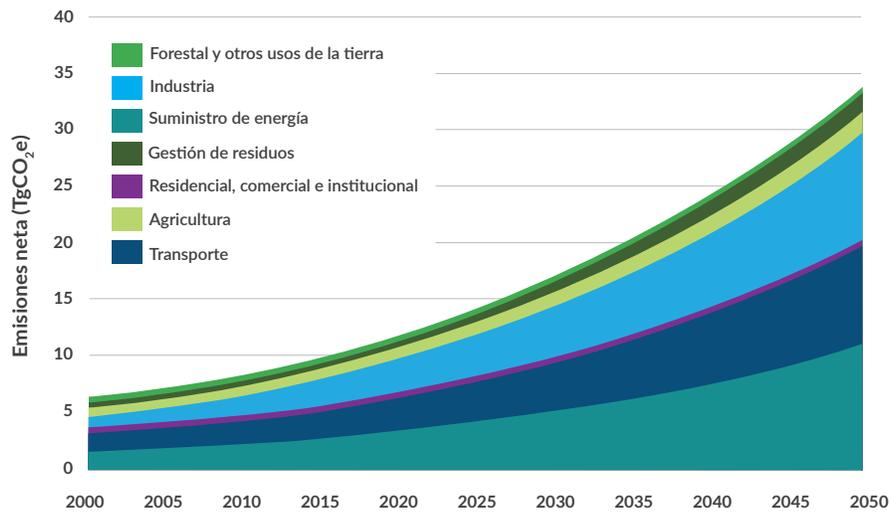
De acuerdo con el análisis de los datos de ambos estados, las principales actividades que generan más emisiones de GEI son el suministro de energía eléctrica (generación e importación) y la demanda de energía para los sectores industrial y de transporte. Para calibrar la línea base se llevó a cabo un taller de retroalimentación con actores clave. A continuación se muestra la línea base de emisiones de GEI por sector, para ambos casos, que utilizó 2015 como año base.

Figura 13. Línea base de emisiones de GEI para Quintana Roo



Fuente: Climate Group y colaboradores (2021).

Figura 14. Línea base de emisiones de GEI para Querétaro



Fuente: Climate Group y colaboradores (2021).

DESARROLLO DE METAS DE DESCARBONIZACIÓN

A partir de la línea base, ambas entidades seleccionaron metas de reducción de GEI, tomando en cuenta los niveles de emisiones requeridos para alcanzar el objetivo de limitar el calentamiento global a 2°C. Además, definieron visiones sectoriales para ayudar a guiar la identificación de las acciones de la trayectoria mediante un proceso participativo entre dependencias estatales y actores clave.

Para determinar las metas, se hizo un análisis comparativo tomando en cuenta los objetivos de reducción de emisiones para ambos estados para 2030 y 2050 respecto de la NDC de México —es decir, 22% no condicionado y 36% condicionado por debajo de los niveles BAU para 2030, y 50% de reducción en comparación con el nivel de 2010 para 2050—. Con esta información se determinó que el logro de la meta para 2050 permitirá a ambas entidades federativas alcanzar un nivel de emisiones netas igual a cero para 2068 (asumiendo una proyección lineal).



Cuadro 17. Metas de descarbonización de Quintana Roo y Querétaro para 2030 y 2050

AÑO	METAS DE DESCARBONIZACIÓN (%)	
	QUINTANA ROO	QUERÉTARO
2030	21	27
2050	60	65

Fuente: Climate Group y colaboradores (2021 y 2021a).

SELECCIÓN Y DISEÑO DE MEDIDAS PRIORITARIAS

A partir de estos resultados, el equipo técnico y las contrapartes estatales elaboraron catálogos, mediante listas exhaustivas, de acciones potenciales en cada uno de los sectores que la entidad podría incluir en su trayectoria para reducir las emisiones o aumentar las remociones de GEI de la atmósfera, en comparación con la línea base. Estos catálogos incluyeron una descripción de las diferentes acciones, así como ejemplos de implementación.

Posteriormente, mediante una encuesta de evaluación multicriterio dirigida a actores clave, se llevó a cabo la priorización de las medidas en conjunto. Los criterios en los que se basó la evaluación son:

- 1) Potencial de mitigación climática.
- 2) Costos.
- 3) Impacto positivo en la igualdad.
- 4) Prioridades gubernamentales existentes.
- 5) Impacto positivo en la calidad ambiental.

Una vez hecha la priorización, se diseñaron las acciones tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Una descripción de lo que representa la acción.
- El nivel de esfuerzo o la escala de cambio en la actividad que la jurisdicción necesita realizar para llevar a cabo la acción.
- El tiempo de implementación para alcanzar el nivel de esfuerzo identificado.



Cuadro 18. Acciones prioritarias por sector para Quintana Roo y Querétaro

SECTOR	ACCIONES PRIORITARIAS	
	QUINTANA ROO	QUERÉTARO
Suministro de energía	<ul style="list-style-type: none"> •Energía solar centralizada •Energía eólica distribuida 	<ul style="list-style-type: none"> •Energía solar centralizada
Demanda de energía comercial, residencial e institucional	<ul style="list-style-type: none"> •Diseño eficiente en viviendas urbanas •Eficiencia energética en aire acondicionado en edificios 	<ul style="list-style-type: none"> •Generación de energía solar distribuida para el sector comercial e institucional
Demanda de energía en transporte	<ul style="list-style-type: none"> •Electrificación de vehículos 	<ul style="list-style-type: none"> •Planificación urbana inteligente •Electrificación de vehículos
Industria	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> •Producción de electricidad renovable <i>in situ</i> •Producción y uso de combustibles renovables •Producción de calor renovable <i>in situ</i> •Eficiencia energética eléctrica
AFOLU	<ul style="list-style-type: none"> •Reducción de la quema agrícola •Planeación urbana para reducir la deforestación •Reducción del riesgo de incendios forestales 	<ul style="list-style-type: none"> •Sistemas agroforestales •Regeneración de tierras de pastoreo •Conservación y expansión del ecosistema forestal
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> •Reducción de residuos municipales •Reciclaje y compostaje de residuos sólidos industriales •Uso de residuos para la producción de energía 	No aplica

Fuente: Climate Group y colaboradores (2021 y 2021a).

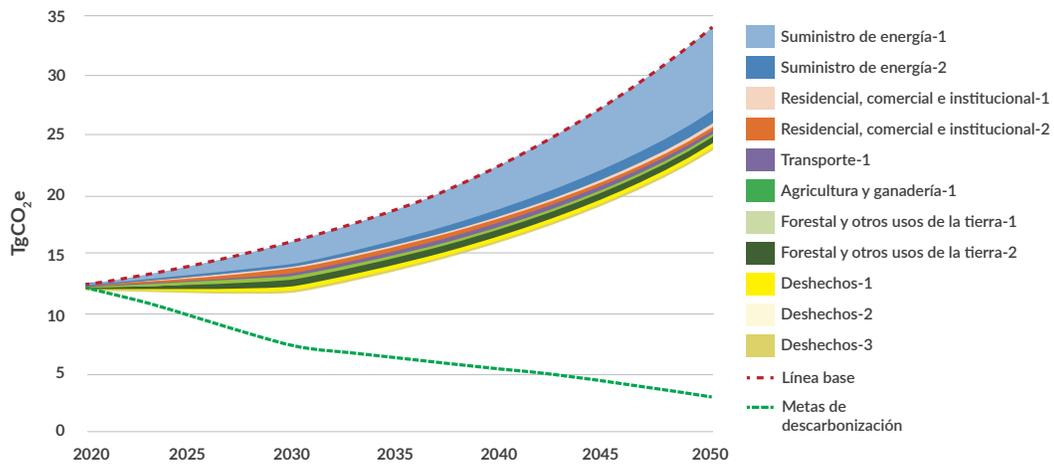
EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE LAS MEDIDAS PRIORITARIAS

Para cada acción, se evaluaron los impactos estimados en cuanto a las emisiones de GEI, la magnitud de los costos y los ahorros directos y en la macroeconomía del estado. Además de la evaluación de cada acción individual, se estimaron los impactos acumulativos esperados de todas las acciones sobre las emisiones de GEI en la economía de la entidad. Finalmente, se reportaron co-beneficios adicionales. A continuación se muestran los principales resultados de la evaluación de impactos para ambos estados.



En Quintana Roo, la mayoría de las disminuciones de emisiones de GEI provendrán de las acciones prioritarias desde el sector suministro de energía. Para 2050, se estima que las reducciones de las acciones prioritarias serán aproximadamente un tercio de las necesarias para alcanzar la meta (60% de disminución respecto a la línea base) (figura 15).

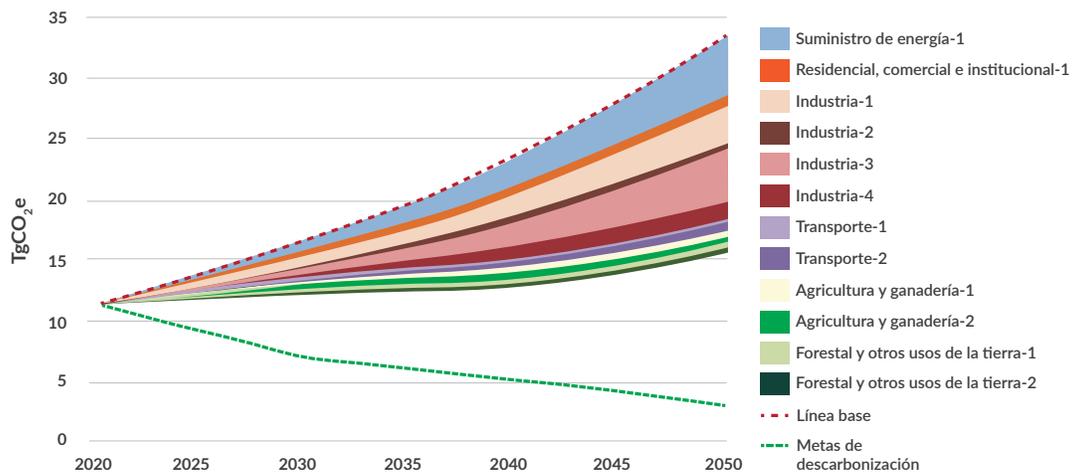
Figura 15. Reducciones de GEI de las acciones prioritarias por sector en Quintana Roo



Fuente: Climate Group y colaboradores (2021).

En Querétaro, la mayoría de las reducciones de emisiones de GEI vendrán del sector industrial (62%) y suministro de energía (30%). Para 2050, se estima que las acciones prioritarias representarán más de la mitad de las disminuciones necesarias para alcanzar la meta (65% de reducción respecto a la línea base) (figura 16).

Figura 16. Reducciones de GEI de las acciones prioritarias por sector en Querétaro



Fuente: Climate Group y colaboradores (2021a).

En ambos casos, las acciones prioritarias contribuirán de manera significativa en la reducción de emisiones de GEI en los próximos 10 años; no obstante, no será suficiente para alcanzar las metas establecidas. Para llegar al objetivo de 2050, Quintana Roo deberá reducir 0.12 TgCO₂e por año, mientras que Querétaro 0.4 TgCO₂e también por año.

El análisis de costos y ahorros arrojó que tanto en Quintana Roo como en Querétaro la mayoría de las medidas representa ahorros netos a lo largo del tiempo. En particular, la generación de energía solar, ya que el ahorro es más alto que los costos de implementación.

Para la evaluación macroeconómica se utilizaron indicadores y modelos empíricos previos para determinar el impacto en el empleo, los ingresos y el crecimiento económico. La mayoría de las acciones prioritarias obtuvieron calificaciones positivas en los distintos indicadores, lo que significa que probablemente generarían un impacto macroeconómico positivo. Cabe mencionar que este análisis no contempló el daño evitado de los impactos negativos del cambio climático (costo social del carbono), ni los nuevos servicios ecosistémicos por las acciones de conservación (excluyendo las remociones de dióxido de carbono).

El siguiente apartado presenta una evaluación comparativa de los casos de rutas de descarbonización subnacionales en México presentados en este capítulo, de acuerdo con sus enfoques técnicos, categorías de escenarios, consideraciones de modelación y sectores incluidos, entre otros aspectos metodológicos.

EVALUACIÓN SOBRE LOS ENFOQUES TÉCNICOS UTILIZADOS PARA EL DESARROLLO DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN A NIVEL SUBNACIONAL EN MÉXICO

A continuación, se incluye una comparación de los enfoques técnicos y elementos que incluyeron los casos sobre el desarrollo de rutas de descarbonización a escala subnacional (cuadro 18). Como se puede observar, en algunos casos se pueden combinar los distintos enfoques técnicos para el establecimiento de metas de mitigación y la construcción de escenarios de descarbonización. Tal es el caso de la Ciudad de México, Yucatán y Jalisco, en los cuales se integraron los tres enfoques: presupuesto de carbono, meta de emisiones netas cero y línea base. En cambio, Querétaro y Quintana Roo definieron sus metas de mitigación con respecto a su línea base para 2030 y 2050. El detalle de las metas y su definición de escenarios se incluye en los cuadros respectivos.



En los cinco casos estatales se incluyeron distintos sectores en el desarrollo de sus rutas de descarbonización. Si bien esto es lo ideal, habrá situaciones donde la falta de recursos o capacidades restrinjan el desarrollo de las rutas a un menor número de sectores. En estos casos el enfoque deberá ser en aquellos con mayores emisiones o los que cuenten con mayor capacidad y factibilidad para implementar las medidas.

En este sentido, la priorización de medidas por sector puede basarse en distintas metodologías. La CDMX utilizó una herramienta desarrollada por C40 (ASAP) que evalúa tanto la factibilidad de implementación como los potenciales co-beneficios, mientras la utilizada por Yucatán y Jalisco se enfoca en la factibilidad técnica, financiera y política de las medidas. Por otro lado, Querétaro y Quintana Roo parten de la evaluación del potencial de reducción de emisiones de las medidas prioritarias validadas preliminarmente e incluyen un análisis de impacto ambiental.

En todos los ejercicios se incluyó un análisis de costo y algunos incluyeron estudios de co-beneficios. En Yucatán y Jalisco, el análisis de costos se basó en curvas de costo marginales de abatimiento, mientras que en la CDMX se llevó a cabo un análisis de costo-beneficio estimado a través del costo medio del abatimiento. Por su parte, para Quintana Roo y Querétaro se realizó un análisis de costo-ahorro y una evaluación de los potenciales impactos macroeconómicos.

Por último, los sistemas de MRV fueron identificados como los siguientes pasos para los casos de Yucatán, Jalisco y Quintana Roo. En el caso de la CDMX, se diseñó una plataforma para este propósito (SS-PACCM) que requiere de seguimiento y compromiso intersecretarial para asegurar su correcto funcionamiento. En Querétaro se identificaron, de manera preliminar, las necesidades, el alcance, las responsabilidades institucionales y garantizar la transparencia, como elementos clave para el desarrollo de un sistema de MRV.



Cuadro 19. Evaluación comparativa de los enfoques y los componentes principales de los casos de rutas de descarbonización a escala nacional en México

ENTIDAD	CIUDAD DE MÉXICO	JALISCO	YUCATÁN	QUERÉTARO	QUINTANA ROO
1. Enfoques considerados en el establecimiento de metas climáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto de carbono sexenal alineado a 1.5°C • Emisiones netas cero a 2050 	<ul style="list-style-type: none"> • Línea base • Presupuesto de carbono 1.5°C • Cero emisiones alcanzadas en 2050 	<ul style="list-style-type: none"> • Línea base • Presupuesto de carbono 1.5°C • Cero emisiones alcanzadas en 2050 	<ul style="list-style-type: none"> • En línea con 2°C <p>También se calcularon posibles metas alineadas a las NDC condicionada y no condicionada, así como 1.5°C, pero se eligió la de 2°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En línea con 2°C <p>También se calcularon posibles metas alineadas a las NDC condicionada y no condicionada, pero se eligió el de 2°C</p>
2. Definición de metas de reducción de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • 43% a 2050 con respecto a las emisiones del año 2016 en el escenario no condicionado • Neutralidad en carbono a 2050 en el escenario condicionado 	<ul style="list-style-type: none"> • 24% a 2024 • 56% a 2030 • 100% a 2050 <p>Con respecto a la línea base para alcanzar el cero neto a 2050</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 22% a 2024 • 58% a 2030 • 100% a 2050 <p>Con respecto a la línea base para alcanzar el cero neto a 2050</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 27% a 2030 • 65% a 2050 <p>Con respecto a las emisiones de 2015</p> <p>*Sólo acciones prioritarias:^A</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25% a 2030 • 54% a 2050 <p>Con respecto del escenario tendencial (BAU)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 21% a 2030 • 63% a 2050 <p>Con respecto a las emisiones de 2016</p> <p>*Sólo acciones prioritarias:^B</p> <ul style="list-style-type: none"> • 17% a 2030 • 29% a 2050 <p>Con respecto del escenario tendencial (BAU)</p>
3. Categoría de escenarios considerados	<ul style="list-style-type: none"> • Escenario tendencial (BAU) • Escenario no-condicionado • Escenario condicionado de cero emisiones a 2050 	<ul style="list-style-type: none"> • Escenario tendencial (BAU) • Escenario posible • Escenario alineado al presupuesto de carbono 1.5°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Escenario tendencial (BAU) • Escenario posible • Escenario alineado al presupuesto de carbono 1.5°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Escenario tendencial (BAU) • Escenario de mitigación en varios sectores 	<ul style="list-style-type: none"> • Escenario tendencial (BAU) • Escenario de mitigación en varios sectores, logrando el cero neto a 2068



ENTIDAD	CIUDAD DE MÉXICO	JALISCO	YUCATÁN	QUERÉTARO	QUINTANA ROO
4. Consideraciones de la modelación de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Año base: 2016; intermedio: 2030; final: 2050 • Se utilizaron los inventarios de GEI 2016 y 2018 • <i>Forecasting</i> para el escenario tendencial y <i>backcasting</i> para los escenarios condicionado y no-condicionado 	<ul style="list-style-type: none"> • Año base: 2020, intermedio: 2030; final: 2050 • Inventario de GEI 2017 	<ul style="list-style-type: none"> • Año base: 2020; intermedio: 2030; final: 2050 • Inventario de GEI 2005. Se utilizó una proyección para determinar las emisiones en 2017 	<ul style="list-style-type: none"> • Año base: 2015; intermedio: 2030; final: 2050 • Inventario de GEI 2018 • La línea base de emisiones se calculó de forma neta 	<ul style="list-style-type: none"> • Año base: 2015; intermedio: 2030; final: 2070 • Inventario de GEI 2010 que se extrapoló a 2016
5. Sectores considerados para la propuesta de medidas y modelación	<ul style="list-style-type: none"> • Residencial • Industrial y comercial • Residuos • Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo eléctrico de los sectores residencial, comercial, industrial y público • Transporte • Industria • AFOLU • Residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo eléctrico de los sectores residencial, comercial, industrial y público • Transporte • Industria • AFOLU • Residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de energía • Demanda de energía comercial, residencial e institucional • Demanda de energía en transporte • Industria • AFOLU • Residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de energía • Demanda de energía comercial, residencial e institucional • Demanda de energía en transporte • AFOLU • Residuos
6. Priorización de medidas de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Herramienta ASAP de C40. Priorización con base en co-beneficios y viabilidad de las medidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico sectorial, potenciales de mitigación, factibilidad financiera y política de las medidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico sectorial, potenciales de mitigación, factibilidad financiera y política de las medidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis multicriterio tomando en cuenta el potencial de mitigación, los costos, el impacto positivo en la igualdad y calidad ambiental y las prioridades gubernamentales 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis multicriterio tomando en cuenta el potencial de mitigación, los costos, el impacto positivo en igualdad y calidad ambiental y las prioridades gubernamentales



ENTIDAD	CIUDAD DE MÉXICO	JALISCO	YUCATÁN	QUERÉTARO	QUINTANA ROO
7. Análisis de costos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de costo-beneficio calculado a través del costo medio de abatimiento • Sólo toma en cuenta costos y beneficios directos (no incluye co-beneficios) 	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas de costos marginales de abatimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas de costos marginales de abatimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de costo-ahorro y evaluación del impacto macroeconómico 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de costo-ahorro y evaluación del impacto macroeconómico
8. Monitoreo, reporte y verificación	<ul style="list-style-type: none"> • SS-PACCM, que mide el desempeño de la política climática; es de carácter participativo enfocado en la mejora continua 	<ul style="list-style-type: none"> • No definido. Se recomendó como un siguiente paso a seguir 	<ul style="list-style-type: none"> • No definido. Se recomendó como un siguiente paso a seguir 	<ul style="list-style-type: none"> • Se diseñó un esquema de documento que contiene la visión general de la importancia de los sistemas de MRV, las necesidades, el alcance, las responsabilidades institucionales, la recopilación de datos, la garantía de calidad y el reporte 	<ul style="list-style-type: none"> • No definido. Se recomendó como un siguiente paso a seguir

^A La reducción de estas medidas no será suficiente para alcanzar la meta a 2050.

^B La reducción de estas medidas no será suficiente para alcanzar la meta a 2050.

Fuente: Elaboración propia con base en los casos subnacionales presentados en la sección “Rutas de descarbonización a nivel subnacional”.

Con el propósito de orientar a los tomadores de decisiones en la elaboración de rutas de descarbonización a escala subnacional, el siguiente capítulo incluye una síntesis de las etapas principales para el desarrollo de dichas rutas en el ámbito estatal a partir de los estudios analizados. Asimismo, aborda los pasos y los requerimientos técnicos y de capacidades para cada etapa.



05

Evaluación y discusión sobre las
**METODOLOGÍAS Y
ENFOQUES UTILIZADOS**
para la elaboración de rutas de
descarbonización subnacionales en México



ETAPAS Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

Dependiendo del enfoque técnico elegido para el diseño de las rutas de descarbonización, se deben considerar distintos aspectos. En cada etapa es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones sobre los requerimientos de información, las capacidades técnicas y los pasos a seguir para poder llevar a cabo una ruta de descarbonización. A continuación se muestran las consideraciones más relevantes según la etapa del proceso, de acuerdo con el análisis de los casos subnacionales presentados anteriormente y las consultas a expertos acerca del desarrollo de rutas de descarbonización a escala en México.

Cuadro 20. Consideraciones y requerimientos para la elaboración de rutas de descarbonización

ETAPA	CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS
1. Compromiso político a nivel estatal	<p>1. <i>Importancia del compromiso político.</i> Los actores clave, especialmente del gobierno, deben estar enterados del proceso de desarrollo de rutas de descarbonización y deben manifestar un compromiso explícito para dar seguimiento a las rutas establecidas, de manera que se puedan implementar.</p> <p>2. <i>Adición a campañas globales o nacionales.</i> Existen campañas globales como las de Race to Zero a las que pueden sumarse los gobiernos estatales para manifestar su compromiso público con la reducción de emisiones.</p> <p>3. <i>Vinculación con instrumentos jurídicos.</i> Los compromisos vinculantes en los instrumentos jurídicos contribuyen a dar continuidad a las rutas planteadas.</p>
2. Identificación de actores y recursos necesarios	<p>1. <i>Mapeo e involucramiento de actores.</i> La identificación de actores es importante para entender cómo se deben involucrar tanto en el desarrollo de rutas de descarbonización como en la implementación. Para ello, será necesario clasificarlos en una matriz de actores, en la que se ubique a los que tienen mayor y menor poder (o influencia), así como mayor y menor interés, de manera que se especifique acciones para cada uno.</p> <p>2. <i>Identificación de recursos necesarios.</i> Existen requerimientos políticos, sociales, técnicos y otros necesarios para el desarrollo e implementación de rutas que es relevante identificar para llegar a los objetivos planteados. Poner; por lo tanto, en este paso es importante mapearlos. Estos recursos también tienen relación (en su gran mayoría) con los factores habilitadores de la etapa 8; sin embargo, en este paso es una identificación <i>a priori</i>.</p>



ETAPA	CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS
3. Diagnóstico del marco legal y medidas de mitigación	<p>1. <i>Revisión del marco legal e instrumentos de planeación.</i> Análisis del marco legal e instrumentos de planeación para identificar con cuántos se cuenta (véase cuadro 11), el año en que se realizó o actualizó cada uno, y la relación que tienen con las rutas de descarbonización, tomando en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El mandato que existe para la descarbonización en el estado; es decir, metas específicas, sectores o cómo habilitar los procesos de descarbonización. • La identificación de los elementos que pueden afectar o contribuir al diseño de las rutas; por ejemplo, si en su ley sobre la materia se considera alguna metodología de planteamiento de metas en específico o monitoreo de acciones, etcétera. <p>2. <i>Revisión de medidas de mitigación.</i> Contabilización y análisis de las medidas o acciones que planteadas en los distintos instrumentos para tomarlas en cuenta en el desarrollo de las rutas, así como los resultados que han obtenido con anterioridad en materia de reducción de emisiones y co-beneficios relacionados principalmente con la Agenda 2030.</p>
4. Establecimiento de metas climáticas	<p>1. <i>Enfoque técnico para el establecimiento de metas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Como se observa en el cuadro 2, existen diferentes enfoques para el establecimiento de metas que consideran la vinculación con un límite de temperatura, la alineación a los NDC o una meta de emisiones netas cero, por lo que será necesario justificar el enfoque seleccionado y establecer objetivos a corto, mediano y largo plazos. • El enfoque de selección de objetivos puede basarse en una combinación de uno o todos. Esto último se recomienda ampliamente para poder visualizar diferentes escenarios.



ETAPA	CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS
<p>5. Modelación de escenarios de mitigación</p>	<p><i>1. Inventario de emisiones actualizado:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Una de las prioridades no sólo para la modelación, sino también para el diagnóstico del estado o municipio es identificar y analizar el último inventario de emisiones de GEI, ya que además de ser un elemento para entender el avance de la política climática en la entidad, también será el punto de partida para establecer los diversos escenarios de modelación. Es necesario que una de las acciones a implementar en el corto plazo sea la actualización del inventario en caso de que no esté actualizado, tomando en cuenta diferentes metodologías como las de INECC, CDP, WRI para regiones, etc. • Identificar los sectores que más generan emisiones y decidir cuáles de ellos se modelarán (idealmente y siempre que haya datos, se incentivará la modelación de todos). <p><i>2. Sectores considerados en la modelación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se debe identificar los sectores que más generan emisiones (con base en el análisis del inventario); aquellos de los que se tienen más datos para modelar; en cuáles se han realizado acciones de mitigación y se han obtenido buenos resultados, entre otros factores. Idealmente se debe incentivar la modelación de todos. • En algunos sectores, por ejemplo, el eléctrico, será necesario determinar el alcance de las medidas elegidas en cuanto a la contabilización de emisiones; es decir, si se tomarán en cuenta medidas que impactan en emisiones directas o indirectas. <p><i>3. Catálogo de medidas.</i> Una vez determinado el o los sectores, se decidirá el catálogo de medidas que se modelarán (ésta será la preselección de las rutas), con base en la información disponible para cada medida, la relevancia para el estado y el diagnóstico de la etapa 3.</p> <p><i>4. Modelación de escenarios de mitigación.</i> Será importante considerar distintos escenarios de acuerdo con las variables que más impactan a la entidad federativa, tomando en cuenta también los recursos necesarios y los factores habilitadores para la implementación. Por ello se recomienda ampliamente presentar dos o tres escenarios.</p>
<p>6. Análisis de costos de las distintas medidas</p>	<p><i>1. Análisis de costos.</i> Existen diferentes tipos de análisis para evaluar los costos y los beneficios de las distintas medidas de mitigación; sin embargo, el más usual es el de curvas de abatimiento (o costo marginal), por lo que se recomienda ampliamente realizar este estudio. Para ello, será necesario tener los costos de inversión, operación y mantenimiento de diferentes tecnologías.</p>
<p>7. Priorización de medidas de la ruta de descarbonización</p>	<p><i>1. Selección de la metodología de priorización:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen distintas metodologías para priorizar las medidas de mitigación, algunas de ellas inclusive se realizan antes de la modelación. No obstante, es pertinente realizar una estimación sobre el potencial de disminución (según la metodología de metas y modelación) y un análisis de costos, ya que sus resultados son el punto de partida para establecer cuáles son las medidas prioritarias de la ruta. • Con base en el mapeo de actores, será necesario involucrar a aquellos que tengan una alta influencia e interés (principalmente) para priorizar diferentes medidas, de modo que se tenga una perspectiva interdisciplinaria. • Además, se deberá buscar una transición climática justa que garantice los derechos humanos, promueva la inclusión social, la equidad de género y la participación ciudadana.



ETAPA	CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS
8. Diseño de un sistema de MRV	<p>1. <i>Identificación de los impactos.</i> En el diseño de las rutas de mitigación es necesario identificar los impactos positivos y negativos de la implementación de estas medidas e incluso relacionarlos con la Agenda 2030 u otros marcos de desarrollo. Con esto se puede saber qué medidas contribuyen al desarrollo sostenible de forma integral y cómo mitigar riesgos.</p> <p>2. <i>Diseño de un sistema de MRV:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • El seguimiento de las medidas de mitigación es fundamental para tener una mejora continua de las acciones y tomar decisiones sobre el camino que deben tomar. Por lo tanto, será necesario diseñar un marco de medición, monitoreo, reporte y verificación de los indicadores involucrados en cada medida, que sea operativo y brinde información útil a los actores interesados, en especial en cuanto a la reducción de emisiones. Este marco debe ser puntual y tener asignaciones específicas; por ejemplo, de qué secretaría o qué área se encarga de reunir información y dónde se puede obtener. Se sugiere incorporar indicadores sociales y con perspectiva de género. • Existen diferentes plataformas de reporte de medidas de mitigación, tanto a nivel nacional como internacional, y cada una tiene un objetivo específico, por lo que se deberá decidir cuál o cuáles son las plataformas adecuadas con base en el objetivo de reporte.
9. Identificación de condiciones habilitadoras para el diseño e implementación de rutas de descarbonización	<p>1. <i>Identificación de factores habilitadores.</i> Los factores habilitadores pueden propiciar el diseño exitoso de rutas de descarbonización, así como su posterior implementación. Esta definición puede basarse en algunos elementos de los recursos identificados en la etapa 2, tomando en cuenta el contexto de modelación, el marco MRV, costos, priorización, etcétera.</p> <p>2. <i>Identificación de retos y barreras.</i> Además de los factores habilitadores, también es importante saber qué barreras existen en el estado o municipio para poder desarrollar e implementar rutas de descarbonización. De esta forma, se podría buscar anticipadamente cómo poder abordarlas.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión de casos subnacionales y consultas con expertos en la materia.

DISCUSIÓN SOBRE LOS ENFOQUES TÉCNICOS Y LAS METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESCENARIOS DE DESCARBONIZACIÓN

Como se ha mencionado a lo largo del documento, existen distintos enfoques para el establecimiento de metas climáticas y, por ende, para la modelación de rutas de descarbonización. Los tres principales enfoques identificados para el ámbito subnacional son: 1) emisiones netas cero, 2) asignación de un presupuesto de carbono, y 3) nivel de reducción de emisiones respecto a un escenario tendencial o ESCALA.



Se pueden utilizar varias o todas estas metodologías para el establecimiento de metas y el ejercicio de modelación de los escenarios de descarbonización para un mismo caso subnacional. De esta forma, los enfoques pueden resultar complementarios para asegurar el nivel de ambición y el establecimiento de metas de corto y largo plazos, como en el caso de emisiones netas cero y el presupuesto de carbono. Por otro lado, elaborar un escenario tendencial o BAU sirve como parte del diagnóstico inicial de las medidas actuales y, además, en algunos casos, a nivel subnacional es un requisito de acuerdo con las legislaciones locales en la materia.

Dentro de los ejercicios de modelación, es importante mencionar que el escenario de política debe incluir las medidas, los programas y las políticas existentes al momento de la elaboración de las rutas de descarbonización. La selección y priorización debe partir del potencial de mitigación y factibilidad técnica de las medidas modeladas; su análisis de costos de implementación; evaluación de los co-beneficios a la salud, sociales y ambientales, y de sus impactos macroeconómicos. Asimismo, es recomendable que, a partir de la elaboración de escenarios de descarbonización, se identifique qué conjunto de medidas podrán llevarse a la implementación mediante recursos propios (no condicionado) y cuáles requerirán de financiamiento y colaboración internacional (condicionado).

Por último, es importante que el establecimiento de la meta considere en qué momento podría ser técnica, económica, social y políticamente viable alcanzar emisiones netas cero en línea con los objetivos de largo plazo del Acuerdo de París. Además, el establecimiento de una meta de descarbonización ambiciosa requiere de un gran compromiso político, ya que esto dará pauta para diseñar la ruta necesaria para el estado, especificando las acciones que posteriormente habrá que medir y reportar para constatar que efectivamente se estén reduciendo las emisiones reportadas.

En el siguiente capítulo se abordan algunas de las condiciones habilitadoras necesarias para transitar hacia una fase de implementación de las acciones, las medidas y las políticas identificadas mediante las rutas de descarbonización. Entre ellas, destacan la transparencia, la socialización y comunicación, la gobernanza, la transversalidad, el financiamiento, la transición climática justa, la perspectiva de género y la participación ciudadana.



06

Hacia la implementación:

CONDICIONES HABILITADORAS

y recomendaciones



En el desarrollo de rutas de descarbonización es importante considerar distintos aspectos desde la etapa de diseño para lograr implementar las políticas y las acciones identificadas. En primer lugar, el proceso para su elaboración debe ser transparente, compartiendo las bases de datos y sus fuentes, el detalle de las metodologías utilizadas y los supuestos, para que tengan credibilidad y se puedan replicar o actualizar con mayor facilidad y robustez.

En este sentido, es necesario involucrar a los actores clave para proporcionar datos e información relevante que fortalezca el desarrollo de las rutas, así como informar a las empresas, la sociedad civil, las comunidades o los grupos que pudieran recibir el impacto o verse beneficiados por las medidas (New Climate Institute y ECN, 2019). Será más probable contar con la participación de los distintos actores para la implementación si se les informa e involucra desde el principio mediante una estrategia de socialización y comunicación de las rutas.

Por otro lado, dentro de la fase de implementación, el uso de los sistemas de MRV es clave para facilitar la transparencia. Mediante un sistema de MRV se puede medir el avance de las metas de descarbonización y evaluar continuamente las medidas requeridas para su cumplimiento. Desde los gobiernos subnacionales se puede diseñar un sistema de acuerdo con sus necesidades u optar por alguna herramienta o plataforma internacional que permita dar seguimiento a las acciones (por ejemplo, [Carbon Disclosure Project](#)).

En segundo lugar, la gobernanza y la transversalidad son cruciales para avanzar hacia la fase de implementación. Los aspectos acerca de la sostenibilidad, la igualdad y la prosperidad social deberán de abordarse de manera consistente dentro y entre los distintos sectores para identificar, de manera efectiva, las posibles interrelaciones y soluciones para la sociedad, la economía y el medio ambiente, especialmente bajo las incertidumbres que implica la planificación a largo plazo (New Climate Institute y ECN, 2019). Desde los gobiernos subnacionales es muy importante fomentar el diálogo entre las distintas secretarías para que mediante la coordinación de los distintos sectores se puedan impulsar las políticas y las medidas de descarbonización necesarias para alcanzar las metas establecidas.

Para garantizar la transversalidad de las rutas de descarbonización, es fundamental que, mediante el marco jurídico, los gobiernos subnacionales puedan vincularlas a sus planes de desarrollo y programas de cambio climático. En este sentido, las leyes estatales de cambio climático pueden proporcionar un soporte y obligatoriedad a las acciones de descarbonización requeridas desde las distintas secretarías y sectores. Por otro lado, en la elaboración de rutas de descarbonización, es importante iniciar con un diagnóstico del marco jurídico para retomar los avances existentes en torno a los instrumentos de planeación climática y medidas de descarbonización. Una porción significativa de las entidades federativas mexicanas ya tienen algún nivel de avance en cuanto a la identificación de medidas y al establecimiento de metas de mitigación.



En tercer lugar, el financiamiento es clave para la implementación de las medidas identificadas a partir de las rutas de descarbonización. Una gran proporción de los activos financieros del mundo pertenecen a sectores que serán sensibles a los efectos de la política climática. Para muchos países en desarrollo, estos sectores (por ejemplo, combustibles fósiles, industrias extractivas, actividades intensivas en energía y emisiones, etcétera) constituyen la principal base de recursos para la mayoría de los inversionistas y para el sector de servicios financieros (New Climate Institute y ECN, 2019). En este contexto, es crucial que los gobiernos nacionales impulsen políticas, impuestos e inversiones que eviten las industrias y las actividades con alta intensidad de carbono y, al mismo tiempo, proporcionen apoyo y capacitaciones para que las personas que trabajan en este tipo de sectores puedan acceder a otro tipo de empleos u ocupaciones.

Aunque desde el nivel subnacional en México, por lo general, no es posible influir en las políticas para las industrias antes mencionadas, se puede recurrir a otro tipo de políticas y alternativas financieras aplicables en el ámbito subnacional. Un ejemplo son los incentivos o subsidios para implementar acciones desde las industrias y los hogares en torno a la innovación de los procesos y uso de materiales sostenibles que favorezcan la eficiencia energética. Otro ejemplo consiste en el diseño de políticas y lineamientos que propicien un desarrollo urbano sostenible que sea compacto, disminuya traslados y priorice el uso del transporte público y opciones de movilidad activa.

Para poder implementar las acciones de descarbonización, los gobiernos subnacionales pueden recurrir, por un lado, a mecanismos de recaudación y asignación de recursos locales operados mediante fondos propios y, por otro, a apoyo técnico y financiamiento internacional, de asociaciones público-privadas y a recursos de las bancas de desarrollo, tanto a nivel nacional como multilateral, entre otros. Es importante mencionar que para facilitar el acceso a los recursos externos se deben fortalecer las capacidades institucionales, tanto para la gestión de los recursos propios como para la estructuración de proyectos que formen parte de una política climática alineada a las necesidades del gobierno subnacional, pero también a las oportunidades de financiamiento externo.

En cuarto lugar, los instrumentos de descarbonización, así como sus estrategias de implementación, tienen que promover una transición climática justa. Bajo este enfoque se busca garantizar los derechos humanos, la igualdad de género y la inclusión social. En este sentido, una ruta de descarbonización debería poder incluir una evaluación de impactos y co-beneficios sociales, identificando opciones para maximizar los co-beneficios y minimizar los impactos negativos de las medidas propuestas (Comisión Europea, 2021). Si se incluye este tipo de evaluación desde la etapa de planeación, se pueden identificar estrategias para promover una transición laboral justa hacia empleos verdes, mediante capacitaciones; igualdad de género en la toma de decisiones, implementación de las medidas y oportunidades laborales; involucramiento de comunidades y grupos indígenas, etcétera.



Asimismo, se deben de visualizar las interdependencias e implicaciones de los distintos objetivos de desarrollo sostenible. Es por esto que, además de incluir una evaluación de impactos sociales, también se debe hacer un análisis de los impactos ambientales que podrían tener las distintas medidas. De esta forma, se puede identificar cuáles tienen el potencial de atender no sólo la mitigación, sino otros aspectos de desarrollo sostenible, como el acceso a la energía, asentamientos humanos sustentables y resilientes, conservación de los ecosistemas, y erradicar la pobreza, por mencionar algunos.

Finalmente, se debe promover una acción climática participativa basada en programas de educación ambiental, que invite a la ciudadanía a elegir opciones bajas en carbono. En este sentido, transitar hacia dietas con una menor dependencia en productos ganaderos; elegir productos con certificados de eficiencia energética; utilizar materiales sustentables para la construcción; optar por transporte público y movilidad no motorizada; reutilizar y reciclar residuos, y evitar el desperdicio de alimentos, son algunas de las opciones para reducir las emisiones desde los consumidores. Estas decisiones deben de ir acompañadas de una transición hacia productos bajos en carbono desde los fabricantes y las regulaciones que fomenten esta transición.



REFERENCIAS

- Anderson, K., I. Stoddard y J. Schrage (2017). *Carbon budget and pathways to a fossil-free future in Järfälla Municipality, Suecia*, CEMUS. Disponible en: http://www.web.cemus.se/wp-content/uploads/2018/05/Carbon-Budget-and-Pathways-to-a-Fossil-Free-J%C3%A4rf%C3%A4lla_CEMUS.pdf.
- Bataille, C., H. Waisman, Y. Briand, J. Svensson, A. Vogt-Schilb, M. Jaramillo, R. Delgado, R. Arguello, L. Clarkee, T. Wild, F. Lallana, G. Bravo, G. Nadal, G. Le Treut, G. Godinez, J. Quiros-Tortos, E. Pereira, M. Howells, D. Buirra, J. Tovilla, J. Farbes, J. Ryan, D. de la Torre Ugarte, M. Collado, F. Requejo, X. Gomez, R. Soria, D. Villamar, P. Rochedo y M. Imperio (2020). “Net-zero deep decarbonization pathways in Latin America: Challenges and opportunities”, *Energy Strategy Reviews*, vol. 30 (julio). Disponible en: <Net-zero deep decarbonization pathways in Latin America: Challenges and opportunities - ScienceDirect>.
- BM. Banco Mundial (2009). *México: Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono*, México. Disponible en: http://awsassets.panda.org/downloads/estudio_sobre_la_disminucion_de_emisiones_de_carbono.pdf.
- Buirra, D., J. Tovilla, J. Farbes, R. Jones, B. Haley y D. Gastelum (2021). “A whole-economy deep decarbonization pathway for Mexico”, *Energy Strategy Reviews*, vol. 33 (enero). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100578>.
- Calvin, K., P. Patel, L. Clarke, G. Asrar, B. Bond-Lamberty, R. Yiyun Cui, A. Di Vittorio, K. Dorheim, J. Edmonds, C. Hartin, M. Hejazi, R. Horowitz, G. Iyer, P. Kyle, S. Kim, R. Link, H. McJeon, S. J. Smith, A. Snyder, S. Waldhoff y M. Wise (2019). “GCAM v5.1: representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems”, *Geoscientific Model Development*, vol. 12, núm. 2, pp. 677-698. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/gmd-12-677-2019>.
- CAT. Climate Action Tracker (2021). “Glasgow’s 2030 credibility gap: net zero’s lip service to climate action”. Disponible en: https://climateactiontracker.org/documents/997/CAT_2021-11-09_Briefing_Global-Update_Glasgow2030CredibilityGap.pdf.
- Climate Analytics y World Resources Institute (2021). *Closing the gap: the impact of G20 climate commitments on limiting global temperature rise to 1.5°C*. Disponible en: https://climateanalytics.org/media/closingthegap_web.pdf.



Climate Group, Norways International Climate Initiative, Winrock International, The Center for Climate Strategies y Reforestamos México (2021). *El desarrollo y la evaluación de la trayectoria de descarbonización en Quintana Roo*. https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/2021-10/Trayectoria_Informe%20tecnico%20final%20de%20Quintana%20Roo.pdf

Climate Group, Norways International Climate Initiative, Winrock International y The Center for Climate Strategies (2021a). *El desarrollo y la evaluación de la trayectoria de descarbonización en Querétaro*. Disponible en: https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/2021-10/Trayectoria_Informe%20tecnico%20final%20de%20Queretaro.pdf.

Comisión Europea (2021). *Transición justa. Un enfoque para vincular las agendas climática, económica y social*, Bruselas (Serie de Estudios Temáticos Euroclima+, 18). Disponible en: <https://euroclimaplus.org/seccion-publicaciones/tipo-de-documentos/estudios-tematicos-publicaciones/transicion-justa-un-enfoque-para-vincular-las-agendas-climatica-economica-y-social>.

DDPLAC Consortium (2020). "Policy lessons from the Deep Decarbonization Pathways in Latin America and the Caribbean Project (DDPLAC)". Disponible en: <https://www.iddri.org/en/project/deep-decarbonization-pathways-latin-america>.

DOF. Diario Oficial de la Federación (2020). Ley General de Cambio Climático. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_061120.pdf.

Evolved Energy Research (2020). "Energy Pathways Model Description". Disponible en: <https://docs.google.com/gview?embedded=true&url=https://decarbamerica.org/wp-content/uploads/2020/12/EnergyPATHWAYS-Model-Description.pdf>.

Gautam, M. y M. Agrawal (2021). "Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management: A review of global scenario", en S.S. Muthu (ed.), *Carbon footprint case studies. Environmental Footprints and eco-design of products and processes*, Singapore, Springer, pp. 123-160.

Gignac, R. y D. Matthews (2015). "Allocating a 2°C cumulative carbon budget to countries", *Environmental Research Letters*, vol. 10, núm. 7. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/7/075004/pdf>.

GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021). "Resultados del presupuesto de carbono del estado de Yucatán [infografía]". Disponible en: https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Infograf%CC%81a_PresupuestodeCarbono_Yucata%CC%81n.pdf.



- GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021a). “Resultados del presupuesto de carbono de Jalisco [infografía]”. Disponible en: https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Infografi%CC%81a_PresupuestodeCarbono_Jalisco.pdf.
- GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021b). *Manual para la estimación de un presupuesto de carbono subnacional para el sector eléctrico y su ruta de descarbonización*. Disponible en: https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Manual-presupuestos-carbono_FINAL.pdf.
- GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021c). *Desarrollo e implementación de presupuestos de carbono y rutas de descarbonización para la acción climática en el sector eléctrico de Yucatán*. Disponible en: https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Presupuesto-Carbono-Yucata%CC%81n_FINAL.pdf.
- GIZ México e Iniciativa Climática de México (2021d). *Desarrollo e implementación de presupuestos de carbono y rutas de descarbonización para la acción climática en el sector eléctrico de Jalisco*. Disponible en: https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Presupuesto-Carbono-Jalisco_FINAL.pdf.
- GIZ México e Iniciativa Climática de México (2020). “Divulgación del presupuesto de carbono nacional y del sector eléctrico para México”. Disponible en: https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Hoja-T%C3%A9cnica-de-Divulgaci%C3%B3n_PresCarbono_FINAL.pdf.
- GIZ México e Iniciativa Climática de México (2019). *Presupuestos de carbono: Una oportunidad para ampliar la ambición climática del sector eléctrico*, Ciudad de México. Disponible en: https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/CONECC_PresupuestoCarbono_Nov19.pdf.
- GRESB. Global Real Estate Sustainability Benchmark (2019). “Science based targets vs. net zero: what’s the difference? Why do they matter?”. Disponible en: <https://gresb.com/nl-en/2019/11/25/science-based-targets-vs-net-zero-whats-the-difference-why-do-they-matter/#:~:text=Science%2Dbased%20targets%20do%20not,is%20a%20science%2Dbased%20target>.
- IEA. International Energy Agency (2021), *Net Zero by 2050*, París, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018). *Inventario Nacional de Emisiones y Compuestos de Efecto Invernadero (1990-2015)*, México.



- INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2015). *Modelación de descarbonización profunda del sistema energético en México al 2050. Reporte final*, México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110133/CGCCDBC_2014_mod_descarbonizacion_profunda_sist_energetico.pdf.
- INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2012). *Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones*, México, INECC, AECID, BID, PNUD, Embajada Británica y USAID. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/113423/2012_Bases_para_una_estrategiaBcarbono.pdf.
- INECC Y PNUD. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2017). *Rutas de instrumentación de la NDC en México*, México.
- Iniciativa Climática de México y Centro Mario Molina (2022). *Desarrollo y socialización de las rutas de descarbonización alineadas a los presupuestos de Carbono de los Estados de Jalisco y Yucatán*.
- Iniciativa Climática de México y Carbon Trust (2020), *Rutas sectoriales de descarbonización para México al 2030 y proyecciones a 2050*, Ciudad de México. Disponible en: https://www.iniciativaclimatica.org/wp-content/uploads/2021/03/PresupuestoCarbono_DOC-POL.pdf.
- Iniciativa Global de Metano (2020). “Las emisiones globales del metano y oportunidades de mitigación”. Disponible en: https://www.globalmethane.org/documents/GMI_Mitigation-Factsheet_Spanish.pdf.
- IPBES. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2019). *The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policymakers*, Bonn. Disponible en: <https://ipbes.net/news/global-assessment-summary-policymakers-final-version-now-available>
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). “Summary for policymakers”, en P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz y J. Malley (eds.), *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.



- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). "Summary for policymakers", en V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu y B. Zhou (eds.), *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, en prensa.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). "Summary for policymakers", en V. Masson-Delmotte, 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, y T. Waterfield (eds.), *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, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, en prensa. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (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*, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel y J.C. Minx (eds.). Cambridge, Cambridge University Press. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_frontmatter.pdf
- Millar, R. y P. Friedlingstein (2018). "The utility of the historical record for assessing the transient climate response to cumulative emissions", *Philosophical Transactions of the Royal Society. A Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 376, núm. 2119. Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rsta.2016.0449>
- New Climate Institute y ECN (2019). *Sector decarbonisation pathways from different angles: Technology, modelling, politics*. Disponible en: https://ambitiontoaction.net/wp-content/uploads/2019/06/NDC-Update_June2019_web_c.pdf.
- O'Neill, B. C., E. Kriegler, K. L. Ebi, E. Kemp-Benedict, K. Riahi, D. S. Rothman y W. Solecki (2017). "The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century", *Global Environmental Change*, vol. 42, pp. 169-180. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.
- PBL. Netherlands Environmental Assessment Agency (2019). *Insight into energy scenarios: A comparison of key transition indicators of 2°C scenarios*, The Hague, Netherlands Environmental Assessment Agency.



- Pye, S. y C. Bataille (2016). "Improving deep decarbonization modelling capacity for developed and developing country contexts", *Climate Policy*, vol. 16, sup. 1, S27-S46. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1173004>
- Rogelj, J., M. Schaeffer, M. Meinshausen, R. Knutti, J. Alcamo, K. Riahi y W. Hare (2015). "Zero emission targets as long-term global goals for climate protection", *Environmental Research Letters*, vol. 10, núm. 10. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/10/105007>.
- Havlík, P., H. Valin, M. Herrero, M. Obersteiner, E. Schmid, M. C. Rufino, A. Mosnier, P. K. Thornton, H. Böttcher, R. T. Conant, S. Frank, S. Fritz, S. Fuss, F. Kraxner y A. Notenbaert (2014). "Climate change mitigation through livestock system transitions", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, núm. 10, pp. 3709-3714.
- Sedema. Secretaría de Medio Ambiente (2021). *Estrategia de Acción Local Climática 2021-2050*. Disponible en: http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/sedema/PACCM_y_ELAC.pdf.
- Semadet. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (2021). *Diagnóstico de capacidades institucionales de los gobiernos subnacionales para la acción climática 2020-2021*, Guadalajara.
- Shukla, P., J. Skea, R. Slade, R. van Diemen, E. Haughey, J. Malley, M. Pathak y J. Portugal Pereira (eds.) (2019). "Technical summary", en *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/srccl/>.
- Svensson, J., H. Waisman, A. Vogt-Schilb, C. Bataille, P. M. Aubert, M. Jaramilo-Gil, J. Angulo-Paniagua, R. Arguello, G. Bravo, D. Buirra, M. Collado, D. de La Torre Ugarte, R. Delgado, F. Lallana, J. Quiros-Tortos, R. Soria, J. Tovilla y D. Villamar (2021). "A low GHG development pathway design framework for agriculture, forestry and land use", *Energy Strategy Reviews*, vol. 37. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100683>.
- UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change (2021). *Contribuciones determinadas a nivel nacional presentadas en virtud del Acuerdo de París. Informe de síntesis de la secretaría*, Glasgow. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_08S.pdf.



Xiao, S., H. Dong, Y. Geng, M. Fujii y H. Pan (2021). "Greenhouse gas emission mitigation potential from municipal solid waste treatment: A combined SD-LMDI model", *Waste Management*, vol. 120 (febrero), pp. 725-733. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20306115>.

WRI. World Resources Institute (2022). "What does, 'net-zero emissions', mean? 8 common questions, answered". Disponible en: <https://www.wri.org/insights/net-zero-ghg-emissions-questions-answered>.

WRI. World Resources Institute México (2019). *Eligiendo el camino correcto: Opciones de bajo costo para fortalecer las metas climáticas de México, logrando beneficios sociales a largo plazo*. Disponible en: https://wrimexico.org/sites/default/files/Publicaci%C3%B3n_Eligiendo%20el%20Camino%20Correcto_VF_0.pdf.





Foto: Unsplash, Johannes Plenio.

¿Cómo establecer metas climáticas ambiciosas desde los gobiernos subnacionales?
Entendiendo los enfoques y avances para el desarrollo de rutas de descarbonización en México

 @CClimaticaMx

 @CClimaticamx

 @ComunidadClimaticaMexicana

 Comunidad Climática Mexicana

 comunidadclimaticamexicana.mx