



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE

ELIGIENDO EL CAMINO CORRECTO:

Opciones de bajo costo para fortalecer las metas climáticas de México logrando beneficios sociales a largo plazo

ANDRÉS FLORES MONTALVO, JUAN CARLOS ALTAMIRANO, FERNANDO OLEA,
ANDREA ZAFRA, JEFFREY RISSMAN

WRI.ORG | WRIMEXICO.ORG

ACERCA DE LOS AUTORES

Andrés Flores Montalvo es Director de Cambio Climático y Energía en el World Resources Institute Mexico (WRI México).

Contacto: andres.flores@wri.org

Juan Carlos Altamirano es Economista Senior del Centro de Economía y del Programa de Clima en el World Resources Institute (WRI).

Contacto: jcaltamirano@wri.org

Fernando Olea es consultor en energía y cambio climático con una amplia trayectoria en el análisis de opciones de mitigación para México.

Contacto: ferolea@gmail.com

Andrea Zafrá es estudiante del posgrado en cambio climático y política ambiental en la Universidad de Leeds. Anteriormente fue Coordinadora de Cambio Climático en el World Resources Institute México (WRI México).

Contacto: andreazafrao@gmail.com

Jeffrey Rissman es Director de Programas de Industria y Director de Modelación en Energy Innovation - Policy & Technology LLC.

Contacto: jeff@energyinnovation.org

Diseño y maquetación:
Billie Kanfer
billie.kanfer@wri.org

AGRADECIMIENTOS

Nos complace agradecer al Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), quien proporcionó los fondos para este proyecto como contribución al NDC Partnership.

Los autores agradecen enormemente los valiosos comentarios y sugerencias proporcionados por todas las organizaciones e individuos que asistieron a los talleres, y por los comentarios ofrecidos durante las entrevistas y consultas que se llevaron a cabo como parte del proceso de elaboración de este reporte.

Agradecemos especialmente a los revisores por sus muy valiosas ideas: Juan Carlos Arredondo Brun, Adrián Fernández Bremauntz, Kelly Levin, Michelle Manion, Katie Ross, Luisa Sierra, Stefanie Tye, Javier Warman Diamant, Arief Wijaya y Andrew Wu.

Gracias a Energy Innovation por su orientación a lo largo de la adaptación, actualización y ejecución del Energy Policy Simulator (EPS) para México. Un agradecimiento muy especial a Robbie Orvis por su invaluable apoyo y compromiso con este proyecto.

Apreciamos enormemente el apoyo de WRI México, del Programa de Clima, del Centro de Economía y del equipo de Ciencia e Investigación de WRI. Un agradecimiento muy especial a Adriana Lobo, Taryn Fransen, Pankaj Bhatia, Maria Hart, Céline Jacquin y José Luis Santana Verdusco.



Federal Ministry
for Economic Cooperation
and Development



ÍNDICE

- 1 Prefacio
- 3 Resumen ejecutivo
- 7 Introducción
- 15 Enfoque de investigación
- 23 Escenario de referencia
- 29 Resultados
- 47 Factores generales de factibilidad y condiciones habilitadoras
- 53 Conclusiones
- 56 Apéndice A
- 56 Acrónimos y abreviaturas
- 57 Notas finales
- 58 Referencias



PREFACIO

Se nos está acabando el tiempo para alcanzar los objetivos establecidos en el Acuerdo Climático de París y evitar un calentamiento global acelerado. En México ya estamos presenciando los crecientes efectos del cambio climático en nuestros medios de subsistencia y ecosistemas. Hemos visto un aumento en la intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, especialmente con los huracanes y las sequías, y también tenemos veranos más largos y cálidos, con impactos en la agricultura, los ecosistemas y la salud humana.

Estos impactos podrían empeorar si México y el resto de las naciones no actúan rápidamente para estabilizar el calentamiento global por debajo de 1.5°C, según lo advierten los más reconocidos científicos mundiales en un informe reciente del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC). Se requiere un cambio radical en todas las áreas: desde la forma en que proveemos energía a nuestros hogares y empresas, cómo construimos nueva infraestructura y redes de transporte, hasta las prácticas agropecuarias sostenibles que podamos adoptar para traer alimentos a la mesa.

El reporte que aquí se presenta muestra que el país no va por buen camino para alcanzar su meta climática a largo plazo de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 50 por ciento para el año 2050 respecto a las emisiones del año 2000. El país tampoco está haciendo aún la parte que le corresponde para alcanzar los objetivos de temperatura del Acuerdo de París y evitar el calentamiento global descontrolado.

La buena noticia que deriva de nuestros hallazgos es que la aplicación de políticas climáticas y de energía limpia ambiciosas beneficiará a la economía de México, lo que dará como resultado un ahorro de 5 mil millones de dólares en gasto público durante la próxima década. También se estima que con ello se salvarán más de 25 mil vidas, gracias a las mejoras en la calidad del aire que respirarán las generaciones actuales y futuras.

Este reporte toma como punto de partida nuestra publicación de 2016 titulada “Ocho puntos de acción para alcanzar las metas climáticas de México”, en la que se utilizaron herramientas de modelación y análisis de escenarios, con los que se demostró que México puede alcanzar sus objetivos

de reducción de emisiones de GEI con un ahorro significativo en costos, mediante medidas como la aplicación de un impuesto a las emisiones de carbono, el aumento en la eficiencia energética en el sector industrial y prácticas para evitar la liberación de metano, entre otras.

Este nuevo reporte de WRI México se suma a la creciente evidencia que muestra que la acción climática en todo el mundo representa un movimiento económicamente inteligente: una oportunidad de 26 billones de dólares, de acuerdo al último reporte de La Nueva Economía Climática. Los avances tecnológicos y la disminución de los costos de la energía renovable están haciendo que las inversiones sostenibles y de bajo carbono sean más competitivas que las tecnologías tradicionales basadas en combustibles fósiles. ONU Medio Ambiente, por ejemplo, encontró que el año pasado se instalaron 157 gigawatts de capacidad de generación a partir de energías renovables, lo que significa un récord que supera con creces a los 70 gigawatts netos de capacidad de generación basada en combustibles fósiles agregados durante el mismo período.

También son atractivos los cobeneficios potenciales de la acción climática: ciudades menos contaminadas y más habitables, sistemas de energía y agua resilientes, viviendas que pueden soportar extremos climáticos cada vez más frecuentes y severos, y ecosistemas que son más productivos, robustos y resilientes. Este hecho abona a construir un argumento poderoso en un país como México, que es un emisor de GEI relativamente alto, pero aún una economía emergente con aspiraciones legítimas de fomentar el crecimiento económico, crear empleo y reducir la pobreza.

Esperamos compartir esta valiosa investigación con todos los interesados y continuar el diálogo sobre cómo podemos acelerar la acción climática y el desarrollo sostenible ante la urgencia de actuar que el reto climático nos demanda.

Adriana de Almeida Lobo

Directora Ejecutiva

WRI México



RESUMEN EJECUTIVO

Esta publicación tiene como propósito ayudar a los tomadores de decisiones a identificar qué opciones podrían incluirse en un portafolio de políticas (una combinación de políticas, medidas y tecnologías) de bajo costo, para lograr los objetivos de reducción de GEI de México y definir una posible trayectoria de emisiones más ambiciosa, así como los beneficios asociados a ambos.

El análisis considera las dos metas, la no condicionada y la condicionada, establecidas en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de México en el Acuerdo de París, de 22 y 36 por ciento de mitigación de GEI, respectivamente, en relación con la línea de base para 2030.

Asimismo, se evalúa el objetivo de largo plazo definido por México en la Ley General de Cambio Climático, que es más ambicioso que los de mediano plazo, y más cercano a estar en línea con una meta de calentamiento global de 2°C. A la fecha, México no ha establecido un objetivo que esté alineado con una meta global de 1.5°C.

ASPECTOS DESTACADOS

- Este reporte identifica una combinación de 21 estrategias de política con las que sería posible lograr la NDC condicionada de México a un bajo costo (12 dólares/tonelada, en promedio).
- Con la implementación de las estrategias de política propuestas, las emisiones de GEI en 2030 disminuyen de 902 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO_{2e}) en el caso de referencia, a 623 MtCO_{2e}, lo que implica una reducción de 31 por ciento. El caso de referencia es un escenario tendencial, definido utilizando la prospectiva vigente en 2018 (2016-2031). Si se compara con la línea de base de GEI establecida en la NDC de México (972 MtCO_{2e}), la reducción lograda en 2030 alcanza el 36 por ciento por debajo del nivel de referencia y es consistente con la meta de la NDC condicionada.
- En general, tres sectores (electricidad, transporte e industria) contribuirían con casi dos tercios de la reducción de emisiones lograda. Los sectores con la mayor disminución relativa de emisiones son el de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (63 por ciento), gestión de residuos (52 por ciento) y generación de electricidad (50 por ciento).
- La implementación del portafolio de políticas propuesto para cumplir con la NDC condicionada requerirá de una inversión de capital significativa. Sin embargo, su efecto neto es positivo para la economía, considerando los ahorros en costos y los cobeneficios, entre los cuales se incluye un estimado de más de 25 mil muertes evitadas acumuladas para 2030, y más de 38 mil para 2050.
- Entre las principales barreras para la implementación, se incluyen las limitaciones en recursos financieros, la falta de coordinación interinstitucional y la falta de capacidades. En general la factibilidad de implementación varía según la política de la que se trate.
- Actualmente, incluso si se alcanzaran los compromisos de la NDC, México no estaría en camino de lograr el objetivo de reducción de emisiones establecido en su estrategia climática de largo plazo. Para lograr los objetivos de reducción de GEI de México, deben hacerse esfuerzos para fomentar políticas sectoriales, asegurar el financiamiento, remontar las barreras de implementación, desarrollar capacidades y promover la innovación.

Para lograr el objetivo de esta investigación, utilizamos el modelo Energy Policy Simulator (EPS), que permite al usuario estimar los efectos de la aplicación de diferentes políticas que afectan el uso de energía y las emisiones en diversos sectores de la economía. Estas provienen de un conjunto de políticas públicas con un alto potencial de reducción incluido en el EPS. Entre ellas hay un amplio espectro de estrategias, incluyendo por ejemplo un impuesto al carbono, estándares de eficiencia energética para vehículos, la reducción de fugas de metano en los procesos productivos, y el avance acelerado en investigación y desarrollo (I+D) de diversas tecnologías, entre otras.

Con los resultados de las corridas del modelo, podemos estimar el nivel de efectividad de diferentes políticas y portafolios de mitigación de emisiones (en términos de emisiones, uso de combustible energético), así como los costos (o ahorros) asociados. Además, el EPS provee estimaciones de los principales beneficios vinculados a los impactos en salud. En este reporte también se incluyen consideraciones adicionales, como las barreras para la implementación de políticas públicas y las condiciones habilitadoras que podrían ser necesarias para asegurar el éxito o fracaso de una medida.

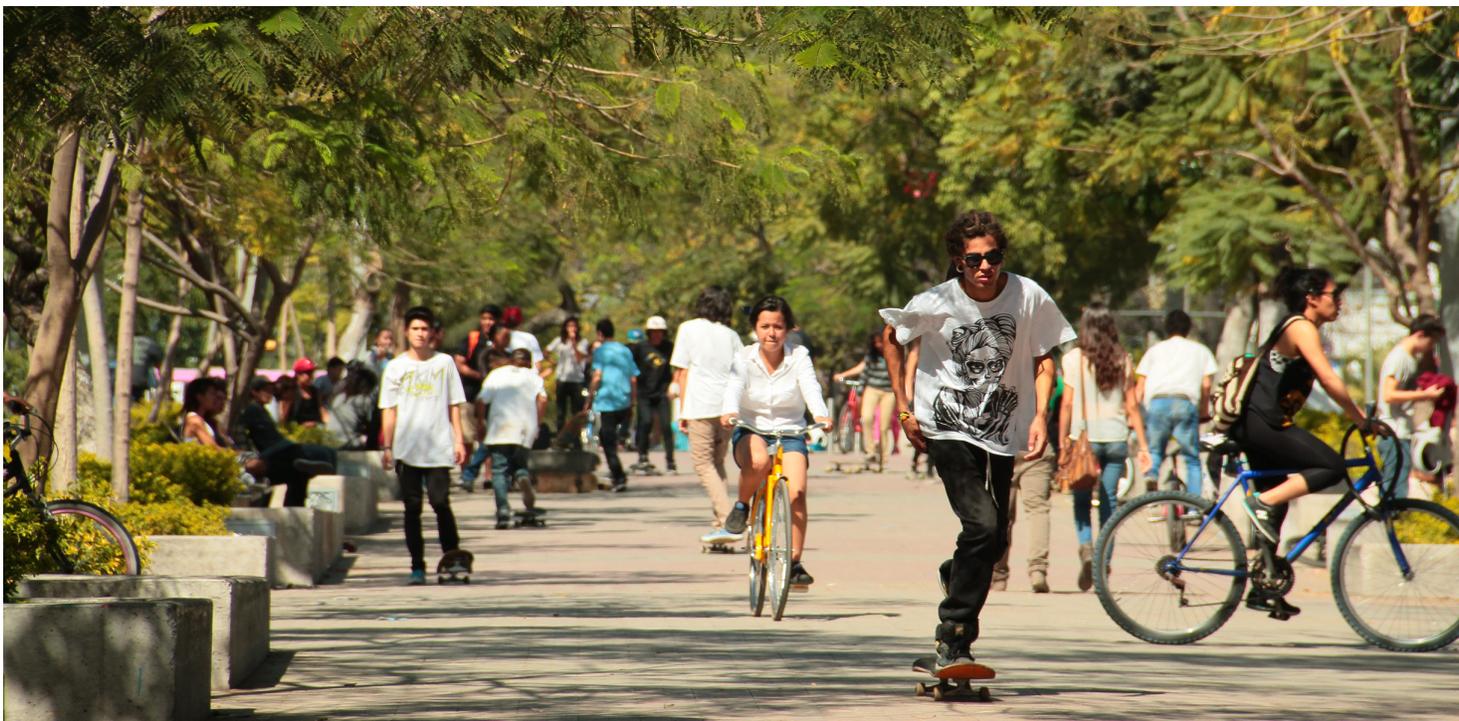
Esperamos que los resultados de este análisis y el ejercicio de modelación de escenarios sean útiles para la formulación de políticas climáticas en los próximos años, especialmente para la administración federal recién llegada, que deberá establecer el camino a seguir para alcanzar los objetivos de la NDC y plantear un objetivo de mitigación más ambicioso, en línea con el Acuerdo de París. Para ello, es muy importante preguntarse qué opciones están disponibles para lograr los objetivos climáticos de México. Además, no sólo México sino todos los países deben hacer esfuerzos adicionales para reducir sustancialmente sus emisiones de GEI tanto a corto como a largo plazo, ya que las NDC actuales no serán suficientes para lograr la mitigación de las emisiones necesaria para alcanzar la meta global de mantener el calentamiento del planeta por debajo de 2°C, y mucho menos de 1.5 °C.

Los resultados presentados en este reporte indican que, a través de la implementación de un portafolio de políticas técnicamente factibles, México puede lograr reducciones de emisiones de GEI en línea con los objetivos de mitigación de su NDC condicionada. El portafolio de políticas seleccionado está compuesto por 21 estrategias de política que caen en todos los sectores de la economía. Estas estrategias se identificaron a través de la modelación y de consultas con expertos.

Nuestro análisis muestra que México puede lograr sus metas condicionadas y no condicionadas de reducción de GEI y al mismo tiempo ahorrar dinero, a través de operaciones más eficientes y con beneficios en salud pública. La implementación de las políticas necesarias requeriría de una inversión total de capital sustancial, cercana a los 100 mil millones de dólares para 2030, que sería económicamente racional, ya que generaría una ganancia estimada de \$105 mil millones de dólares, considerando los ahorros en costos y los cobeneficios a obtenerse durante el mismo período.

El escenario de la NDC condicionada simula un impuesto al carbono que crece linealmente hasta llegar a 50 dólares/tCO₂e en 2030. El impuesto se aplica a los sectores de petróleo y gas, generación de energía, transporte, industria, agricultura y gestión de residuos. El impuesto se modela como neutral en cuanto a ingresos, y podría contribuir con una reducción de 19 MtCO₂e y ahorros netos estimados en 35 dólares por tonelada reducida en 2030, debido a la mejora en la eficiencia energética y los cambios en los patrones de consumo que provocaría. En el nivel en el que se definió, el impuesto se encuentra dentro del rango que generalmente se considera necesario para lograr un objetivo de calentamiento de 2°C.

Actualmente, incluso si se cumplieran los compromisos de la NDC, México no estaría en camino de lograr el objetivo de reducción de emisiones establecido en su estrategia de largo plazo. Este objetivo se estableció en términos absolutos como el 50 por ciento de las emisiones totales del año 2000 para el año 2050, y es aproximadamente equivalente a una emisión de 2 tCO₂ *per cápita*, lo que implica casi un tercio de las emisiones *per cápita* actuales. Para lograrlo, es necesario avanzar más rápido hacia la implementación y aumentar sustancialmente el nivel de ambición.





INTRODUCCIÓN

México ha logrado grandes avances en términos de diseño de políticas y arreglos institucionales para enfrentar los desafíos planteados por el cambio climático. Ha establecido ambiciosos objetivos de mitigación de GEI y es reconocido mundialmente como un líder climático, dadas sus posiciones progresistas en foros internacionales. Sin embargo, el avance hacia la implementación efectiva de acciones en algunos sectores es lento. Se espera que la identificación y el análisis de las opciones para lograr los objetivos climáticos de México y establecer objetivos más ambiciosos de manera rentable, ayuden al país a identificar y abordar áreas de oportunidad.

México es reconocido como un líder en diversos foros climáticos internacionales. Desempeñó un papel clave para volver a encaminar el proceso multilateral después del fracaso de la 15ª reunión de la Conferencia de las Partes (COP), que tuvo lugar en Copenhague en 2009, hasta la COP 16 en Cancún, un año después. Fue el primer país en el Sur Global en publicar seis comunicaciones nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y en presentar su Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (iNDC, por sus siglas en inglés) para el Acuerdo de París.

También es uno de los pocos países, y el único en América Latina, que ha presentado su Estrategia Climática de Medio Siglo. A menudo, debido a su posición como país en desarrollo dentro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), México ha desempeñado un papel de puente en las negociaciones multilaterales, tratando de proporcionar un terreno intermedio a los países en desarrollo y desarrollados en el cual alcanzar un acuerdo.

Para lograr el amplio reconocimiento con el que cuenta y mantener una posición constructiva en las negociaciones climáticas, ha ayudado que México cuenta con un marco legal e institucional relativamente bien desarrollado. Gracias en particular a la Ley General de Cambio Climático (LGCC), aprobada por el Congreso en 2012 y actualizada en 2018 para incorporar la NDC de México (DOF 2018), se implementó un sistema integral de cambio climático formado por instituciones de todos los niveles y sectores gubernamentales, documentos de planificación, y objetivos climáticos. La capacidad del país para abordar problemas climáticos y diseñar políticas ha mejorado sustancialmente con el tiempo, y ahora existe un proceso más participativo a lo largo de todo el ciclo de las políticas climáticas.

Sin embargo, pasar de lo anterior a la implementación de políticas reales sigue siendo un desafío. Una evaluación reciente del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC), publicada por el Comité Nacional de Evaluación de la Política Climática (INECC 2017), que fue la primera realizada por este organismo independiente cuya creación fue mandatada por la Ley General de Cambio Climático, afirma que a finales de 2016 hubo un

retraso en la implementación del PECC. De un total de 199 líneas de acción dentro del programa (SEMARNAT 2014), el 43 por ciento avanzaba según lo programado, el 28 por ciento había sufrido retrasos y el 29 por ciento restante ya no se reportaba o fue eliminado por las agencias públicas a cargo de su implementación. Una evaluación posterior realizada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con las secretarías correspondientes, actualizó el progreso del PECC a casi el 85 por ciento para el primer trimestre de 2018. Sin embargo, la contribución potencial del PECC a los objetivos de mitigación nacionales es relativamente pequeña, ya que sólo incluye acciones del gobierno federal, propuestas por las propias dependencias. Si a ello se agrega que no se implementan todas las acciones comprometidas, su relevancia disminuye.

Un vistazo al último inventario oficial de emisiones de GEI (INECC 2018a), cuyo año de referencia es 2015, muestra que las emisiones brutas totales durante los últimos cinco años analizados (2010–15) crecieron a una tasa del 0.86 por ciento anual, pasando de 672 a 702 MtCO₂e. Con ello, la tasa de crecimiento anual de las emisiones de GEI disminuyó del promedio de los 10 años previos, de 2000 a 2010, cuando fue del orden del 2 por ciento anual. A pesar de ello, para alcanzar la meta no condicionada de la NDC, las emisiones de 2015 a 2030 deben limitarse a un crecimiento anual máximo del 0.55 por ciento. En el caso de la meta condicionada, las emisiones deberían incluso disminuir, a una tasa de un 0.79 por ciento anual. Se observa así claramente que hay todavía una brecha que superar.

A lo largo del proceso electoral reciente, algunas organizaciones de la sociedad civil pugnaron porque la siguiente administración federal se mueva más rápido para lograr los objetivos establecidos en la Ley y para aumentar la ambición climática en general (ICM et al. 2018). ICM et al. (2018) declararon que las políticas actuales no son suficientes para cumplir con los compromisos climáticos de México. Por otra parte, algunos grupos de investigación también cuestionaron si México podría lograr sus metas de mitigación de GEI, que también se consideraban insuficientes para cumplir los objetivos del Acuerdo de París (CAT 2018). La necesidad de una mayor velocidad de implementación y una mayor ambición climática parecen ser los mensajes claves.

Acerca de este reporte

El objetivo principal de este documento es el de definir un portafolio de políticas de bajo costo (combinación de políticas, medidas y tecnologías) para lograr las metas de mitigación de la NDC no condicionada y condicionada de México (22 y 36 por ciento, respectivamente, de reducción de emisiones de GEI por debajo de la línea base tendencial [BAU] para 2030). Este análisis toma como punto de partida el documento de trabajo “Ocho puntos de acción para alcanzar las metas climáticas de México” (Altamirano et al. 2016), que utilizó una versión anterior del modelo EPS. Para este análisis, se revisaron todos los insumos y se realizaron actualizaciones significativas con base en los documentos oficiales de planificación vigentes.

Para los fines de este reporte, un portafolio de políticas de bajo costo se entiende como aquel con el que es posible alcanzar los objetivos de reducción de emisiones a través de políticas que tienen un beneficio económico neto o el costo más bajo entre las opciones disponibles. El modelo EPS es capaz de combinar diferentes soluciones e identificar aquellas con el mejor resultado a un menor costo, en este caso basándose en la versión del modelo para México, que se mejoró para incluir estrategias adicionales a las consideradas en corridas anteriores, refinar sectores y actualizar bases de datos, y extender el horizonte de modelación hasta 2050.

Otra motivación del análisis es saber si las alternativas de política evaluadas son implementables. En este sentido, fue importante realizar consultas con los actores clave para obtener su opinión sobre la factibilidad financiera, jurídico-política y social de las propuestas.

Una pregunta que queda por estudiar a mayor profundidad tiene que ver con los impactos socioeconómicos de la acción climática, que son relevantes si pensamos en los costos en un sentido más amplio, incluyendo no sólo los costos financieros y la reducción de GEI, sino también algunas implicaciones, por ejemplo, en el Producto Interno Bruto (PIB), empleo, o impactos distributivos. Esta evaluación se tendrá que realizar externamente al modelo, con un enfoque aún por definir.

El reporte está organizado de la siguiente manera: después de las secciones introductorias, donde establecemos las preguntas y los fundamentos que

impulsan el análisis, pasamos a discutir el contexto y los estudios previos, en vista de los cuales este análisis resulta relevante. Luego, explicamos nuestro enfoque de investigación y resultados. Finalmente, abordamos los factores de factibilidad y presentamos las conclusiones y los hallazgos principales.

Pertinencia

Desde que se publicó por primera vez, la pregunta de cuánto costaría alcanzar la NDC de México para el Acuerdo de París, quedó en gran medida sin respuesta. No fue sino hasta muy recientemente, que el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) estimó un costo de 136 mil millones de dólares, acumulados entre 2014 y 2030 (INECC 2018b). La evaluación del INECC se basó en un conjunto de 30 medidas en ocho sectores que originalmente se consideraron como parte de la meta no condicionada de México. Sin embargo, la mayoría de las medidas específicas ahí contenidas aún no se han convertido en compromisos gubernamentales concretos, lo que deja espacio para considerar combinaciones alternativas de medidas. De hecho, algunos actores relevantes que consultamos han expresado interés en considerar otras opciones. Entre los elementos adicionales que hacen que ésta sea una preocupación válida están el rápido progreso en la curva de aprendizaje de las tecnologías limpias, así como la necesidad de aumentar la ambición a nivel mundial para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, o incluso un calentamiento global de 1.5° C como máximo, lo que requeriría un mayor esfuerzo de mitigación de todos los países.

Además, la NDC de México no define cuál es el conjunto específico de acciones con el que se va a lograr el objetivo general de reducción del 22 por ciento de sus emisiones de GEI para 2030, en relación con el BAU, y un pico de emisiones para 2026, excepto por un número muy pequeño de medidas incluidas en la Ley General de Cambio Climático, en la reforma energética o en la NDC de México (por ejemplo, un objetivo de penetración de energía limpia del 35 por ciento para 2024 o de deforestación neta cero para 2030). No hay fuera de ello otros compromisos vinculantes, mucho menos para alcanzar la meta condicionada de mitigación del 36 por ciento por debajo del BAU o la estrategia de largo plazo (2050). Con tal flexibilidad, México

estaría abierto a explorar diferentes vías para lograr sus metas climáticas.

Por lo anterior, es muy relevante y oportuno preguntarse qué opciones están disponibles para lograr los objetivos climáticos de México. La respuesta a esta pregunta será fundamental para la formulación de políticas en los próximos años, especialmente con el cambio de administración que tuvo lugar a fines de 2018, después del cual resulta necesario establecer un camino para alcanzar las metas de la NDC.

Los resultados de este análisis deben ser particularmente útiles para la administración federal entrante, que ha reconocido al cambio climático como el mayor desafío ambiental que enfrenta el planeta, al cual México es altamente vulnerable. Los funcionarios recién nombrados han indicado que “ajustarán las políticas públicas para cumplir con el Acuerdo de París” (NaturAMLO 2018).

Es importante enfatizar que lograr los objetivos del Acuerdo de París requiere no sólo el cumplimiento de las metas de mitigación establecidas a nivel nacional, sino también una mayor ambición a nivel mundial en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza (UNFCCC 2015). El Acuerdo de París requiere que todos los países hagan esfuerzos adicionales para reducir sustancialmente sus emisiones tanto a corto como a largo plazo, como veremos en la siguiente sección de este reporte. En la actualidad, la suma de todas las NDC presentadas en el marco del Acuerdo de París no sería suficiente

para mitigar las emisiones necesarias para estar en el camino hacia la meta de mantenerse por debajo de un calentamiento global de 2°C (UNEP 2017). Lograr las NDC actuales no limitaría el calentamiento global a 2°C, incluso si ellas se complementaran con esfuerzos de reducción muy grandes después de 2030 (IPCC 2018). Se necesitan así esfuerzos de mitigación significativamente fortalecidos mucho antes de 2030 para reducir las emisiones globales. Incluso suponiendo que se logre la totalidad de las reducciones de emisiones comprometida, estaríamos en camino hacia un calentamiento promedio de 2.7 a 3.7°C para fines de siglo (CAT 2015).

Contexto

Con el Acuerdo de París alcanzado en la COP 21 a fines de 2015 (UNFCCC 2015), se obtuvo un logro importante en las negociaciones climáticas internacionales. Por primera vez en su historia, prácticamente todas las Partes de la CMNUCC, independientemente de si son países desarrollados o en desarrollo, acordaron contribuir para alcanzar el objetivo común de limitar el calentamiento global a un máximo de 2°C por encima de los niveles preindustriales, con esfuerzos adicionales para no ir más allá de 1.5°C. Aplicando un enfoque innovador en los procesos multilaterales, el Acuerdo se construyó sobre la base de las NDC, que pretendían representar los mejores esfuerzos de los países para adaptarse al cambio climático y mitigar las emisiones de GEI. La implementación de las NDC, particularmente en el caso de los países de bajos



ingresos, se apoyará con la movilización adecuada de financiamiento, creación de capacidades y transferencia de tecnología.

El conjunto inicial de las NDC nacionales es insuficiente para alcanzar la meta global colectiva de calentamiento a largo plazo, incluso en el caso hipotético de que se implementaran por completo (CAT 2015). Ello se esperaba incluso en el momento de las negociaciones, por lo que el Acuerdo de París exige revisiones periódicas de las NDC para alcanzar un nivel de ambición colectivo suficiente (UNFCCC 2015). El Acuerdo también establece un marco de transparencia para el seguimiento de la acción y el apoyo. Así, cada cinco años se realizará un ejercicio de inventario (stocktaking) para evaluar el progreso logrado. También se acordó que se adoptarían varias medidas para fortalecer la acción antes de 2020, incluidos los esfuerzos para comunicar NDC nuevas o actualizadas. Los países también están invitados a presentar sus estrategias de largo plazo (LTS, por sus siglas en inglés) a más tardar en 2020 (UNFCCC 2015).

A principios de 2015, México se convirtió en el primer país en desarrollo en presentar su iNDC rumbo a la COP 21 en París (Gobierno de la República 2015). Este documento se convirtió más tarde en su NDC, una vez que México ratificó el Acuerdo de París el 21 de septiembre de 2016. El documento incluye las metas de mitigación y

adaptación de GEI y carbono negro, destacando la alta vulnerabilidad del país al cambio climático.

Las metas de mitigación de emisiones establecidas por México en su NDC incluyen a toda la economía, e implican una desviación relativa de una trayectoria tendencial BAU como línea base. La línea base se proyectó a partir del Inventario Nacional de Emisiones de GEI con base 2013, utilizando supuestos de crecimiento sociodemográfico y económico, y considerando los estudios prospectivos oficiales de los sectores energía e industria para definir su trayectoria. Las emisiones proyectadas para 2030 son de 972 MtCO_{2e}, y se alcanzaría un pico en 2026. Se definió una meta no condicionada de mitigación de GEI de 22 por ciento y una meta condicionada más ambiciosa, de 36 por ciento por debajo de la línea base, en ambos casos para 2030. La NDC también establece metas de mitigación de carbono negro y las agrega a sus objetivos de GEI convirtiéndolos a CO_{2e}, utilizando un factor de conversión que carece de consenso general. La meta condicionada está sujeta a alcanzar “un acuerdo global que aborde temas importantes que incluyan un precio internacional al carbono, ajustes a aranceles por contenido de carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y a la transferencia de tecnología, todo ello a una escala equivalente con el reto del cambio climático global” (Gobierno de la República 2015).



México ha establecido metas a más largo plazo desde 2012, cuando la Ley General de Cambio Climático incluyó lo que denominó una “meta aspiracional” de lograr una reducción del 50 por ciento en las emisiones anuales para 2050 con respecto a las emisiones absolutas en el año 2000 (DOF 2018). Esta meta se reflejó más tarde en la Estrategia Climática de Medio Siglo de México (INECC 2016a), presentada a la CMNUCC a fines de 2016 como parte de un esfuerzo conjunto de los países de la región de América del Norte, que habían firmado anteriormente la Asociación de Clima, Energía Limpia y Medio Ambiente de Norteamérica. A fines de 2018, México era el único país de América Latina y uno de los diez países del mundo que había preparado y presentado su LTS.

La LTS se construyó a partir de la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2013, que se complementó con algunos ejercicios de modelación. En ella se considera la acción directa en cinco importantes áreas: transición hacia la energía limpia, eficiencia energética y consumo sostenible, ciudades sostenibles, reducción de contaminantes climáticos de vida corta, y agricultura sostenible y protección de sumideros naturales de carbono. La LTS también identifica problemas cruciales transversales para la política climática a largo plazo, incluida la necesidad de instrumentos basados en el mercado para ponerle un precio al carbono, una mayor innovación, más investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, y la necesidad de construir una cultura climática con mecanismos para la participación social y del sector privado (INECC 2016a).

Aunque existen desafíos para lograr la implementación de la acción climática en todos los sectores relevantes, se han observado progresos en los últimos años ya sea con o sin motivaciones climáti-

cas. Un ejemplo de esto se relaciona con la reforma energética, que abrió los mercados del petróleo, el gas y la electricidad a una mayor competencia, complementada con objetivos de penetración de energía limpia e incentivos económicos establecidos en la Ley de Transición Energética aprobada por el Congreso en vísperas de alcanzar el Acuerdo de París. Otro ejemplo ampliamente referido a nivel nacional e internacional es el impuesto al carbono aplicable a los combustibles fósiles, que se complementará con un sistema de comercio de emisiones, cuyas reglas se encuentran actualmente en proceso de preparación. Recientemente, se han propuesto también normas estrictas de emisiones de metano que están pasando por el proceso de revisión oficial.

Construyendo sobre los análisis previos

En 2016, WRI junto con el Centro Mario Molina (CMM) y Energy Innovation (EI), produjeron un documento de trabajo que identificó y evaluó las políticas climáticas y energéticas clave disponibles para México, en apoyo a la implementación de su iNDC (Altamirano et al. 2016). Al aplicar un proceso de selección gradual de políticas (evaluando las políticas planeadas y posibles para México conforme a su potencial de reducción de GEI, costo de implementación, viabilidad política, beneficios en salud y seguridad energética), el estudio encontró que México podría cumplir con los objetivos de reducción anunciados en su iNDC, al tiempo que podía ahorrar al menos 200 mil millones de pesos (alrededor de 11 mil millones de dólares en ese momento) y salvar 15,000 vidas acumuladas hasta 2030. Además, el estudio descubrió que, al mejorar significativamente las políticas existentes e implementar políticas adicionales, México podría alcanzar su meta de mitigación condicionada y a la vez evitar costos.

El análisis se realizó utilizando la primera adaptación del modelo EPS para México (versión 1.1.4) y proporcionó una hoja de ruta para cumplir con los objetivos iNDC de México a través de una política que incluía los siguientes ocho puntos:

- Mejorar la eficiencia energética en vehículos e industria y promover el cambio a combustibles limpios en actividades industriales.
- Fortalecer las acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero diferentes al CO₂.
- Reducir las distorsiones en la economía mediante la introducción de precios al carbono y la eliminación gradual de los subsidios a los combustibles fósiles.
- Aumentar la capacidad y eficiencia en el sector eléctrico (transmisión y distribución).
- Promover sinergias con los objetivos de adaptación (deforestación y reforestación) y otras acciones sectoriales (agricultura).
- Promover la transición a opciones de transporte limpias y bien diseñadas.
- Aumentar la eficiencia energética en edificaciones comerciales y residenciales.
- Desarrollar una estrategia integral a largo plazo para lograr emisiones de GEI netas nulas en línea con los objetivos de largo plazo del Acuerdo de París.

El documento de trabajo de 2016 proporcionó herramientas para evaluar vías alternativas para que México alcanzara los objetivos de su NDC. No pretendió proponer un proceso paralelo para desarrollar hojas de ruta oficiales para México, sino proporcionar insumos para la discusión interna, así como análisis comparativos de políticas y modelos. El trabajo se realizó en consulta permanente con

el gobierno y no fue diseñado para reemplazar los esfuerzos nacionales para establecer los planes de implementación de la NDC.

Después de la publicación del documento de trabajo, se llevó a cabo una ronda de discusiones con funcionarios gubernamentales, quienes reconocieron el valor agregado de este análisis para avanzar hacia la implementación de la NDC. En particular, encontraron útil que el ejercicio incluyera una validación de los parámetros de modelación, políticas (y sus posibles sinergias o antagonismos) y escenarios a través de discusiones (bilaterales y en talleres) entre actores clave; que se identificaran los vacíos de datos clave para la formulación efectiva de políticas, y en general que se les permitiera tener una herramienta alternativa para contrastar con los modelos macroeconómicos usuales. Esto llevó a una solicitud explícita de la SEMARNAT para actualizar y refinar el análisis, lo que condujo a la preparación de esta nueva publicación.

En resumen, este reporte toma como base el análisis de Altamirano et al. (2016), ampliando el alcance al incluir estrategias de política adicionales a las consideradas en el estudio anterior, refinando la forma en que se modelan los sectores, actualizando las bases de datos y extendiendo el horizonte de modelación hasta 2050. Al tener un horizonte de tiempo más largo, fue posible ilustrar mejor el efecto de las políticas que muestran un potencial de reducción significativo después de 2030; por ejemplo, los estándares de eficiencia para vehículos o edificaciones.



ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Este reporte deriva en gran medida de un análisis de escenarios, cuya base es el Energy Policy Simulator (EPS) para México.

Una versión anterior del EPS se actualizó para reflejar mejor la economía mexicana, así como para ampliar el horizonte de modelación hasta 2050, en línea con la estrategia climática de largo plazo recientemente preparada y presentada por México. El EPS es un modelo de dinámica de sistemas a escala nacional, para toda la economía, que recientemente se ha replicado en otros países.

Nuestro enfoque de investigación consiste en un análisis de múltiples niveles, que comienza identificando las estrategias y políticas potenciales para evitar o reducir las emisiones de GEI y, posteriormente, identifica su costo de implementación. Esto es particularmente importante en el análisis a largo plazo, ya que otros enfoques pueden producir soluciones que podrían hacer mucho sentido técnica y económicamente en el corto y mediano plazo, pero que se desdibujan en el largo plazo, pudiendo bloquear la implementación de medidas que permitan una mayor reducción (fija) en etapas posteriores. Para respaldar la elaboración de este análisis económico integral, elegimos el modelo EPS, que se explica a continuación.

CUADRO 1 | Modelación de dinámica de sistemas

Existe una gran variedad de enfoques para representar la economía y el sistema energético en una simulación por computadora. El EPS se basa en un marco teórico denominado dinámica de sistemas. Como su nombre lo indica, este enfoque considera los procesos de uso de la energía y la economía como un sistema abierto, en constante cambio y sin equilibrio. Esto puede contrastarse con enfoques como los de los modelos de equilibrio general computable, que consideran a la economía como un sistema de equilibrio sujeto a choques exógenos, o con modelos basados en tecnologías desagregadas, que se centran en las posibles ganancias en eficiencia o las reducciones de emisiones que podrían lograrse mediante la mejora de tipos específicos de equipamiento.

El uso de un modelo de dinámica de sistemas permite el traspaso de stocks entre períodos, lo que hace posible registrar cambios en las capacidades, poblaciones/flotas y beneficios acumulados en comparación con un escenario de referencia; también permite un cambio gradual en los parámetros que no requiere volver a calcular un parámetro general para un sector específico. Esto es útil en el sector de la industria, por ejemplo, para ilustrar mejoras progresivas en eficiencia.

Fuente: EI 2015.

El Modelo Energy Policy Simulator (EPS)

Los criterios para elegir un modelo para responder a nuestras preguntas de investigación fueron que debería poder representar a toda la economía y al sistema energético con un nivel apropiado de desagregación, ser fácil de adaptar a México, ser capaz de simular una amplia gama de opciones de política relevantes y ofrecer resultados que consideren una variedad de elementos relevantes para el diseño de política. Así, seleccionamos el EPS, que es un poderoso modelo computacional de dinámica de sistemas (ver Cuadro 1) que estima los efectos de varias políticas en términos de emisiones, métricas financieras, estructura del sistema eléctrico y otras variables.

El EPS tiene una amplia gama de opciones de política disponibles para avanzar hacia el objetivo de mitigar las emisiones de GEI y es útil para analizar los efectos de las políticas de mitigación cuantitativamente, al tiempo que da cuenta de las interacciones entre las políticas y dentro de los sectores (por ejemplo, no hará doble contabilidad de las políticas con efectos similares, sino que estimará sus efectos sinérgicos). Esto es muy útil, ya que las políticas que se implementan juntas a menudo producen resultados diferentes (como una mayor o menor reducción de emisiones) que si se sumaran sus efectos individuales. Las políticas también pueden ser específicas para un sector o un tipo de tecnología (por ejemplo, los estándares de eficiencia energética de vehículos ligeros) o para toda la economía (como un impuesto al carbono). Debido a que el modelo evalúa ambos, puede ilustrar los casos cuando, por ejemplo, un enfoque impulsado por el mercado, un enfoque regulatorio directo, o una combinación de los dos se puede utilizar para avanzar hacia un mismo objetivo.

El EPS fue desarrollado por Energy Innovation LLC como parte de su proyecto de Soluciones de Política Energética (EI 2015), en un esfuerzo para informar a los formuladores de políticas y reguladores sobre qué políticas climáticas y energéticas reducirán las emisiones de GEI de manera más efectiva y al menor costo. El modelo EPS se ha desarrollado y mejorado continuamente desde octubre de 2015 (v.1.0.0). La versión actual (v.1.4.2), lanzada en

julio de 2018, es la utilizada en este estudio. El modelo es de código abierto y está ampliamente documentado. El modelo y los archivos para su ejecución y edición, así como una extensa documentación de soporte, se pueden obtener directamente en línea (ver Apéndice A).

Estructura y Funcionalidad del EPS

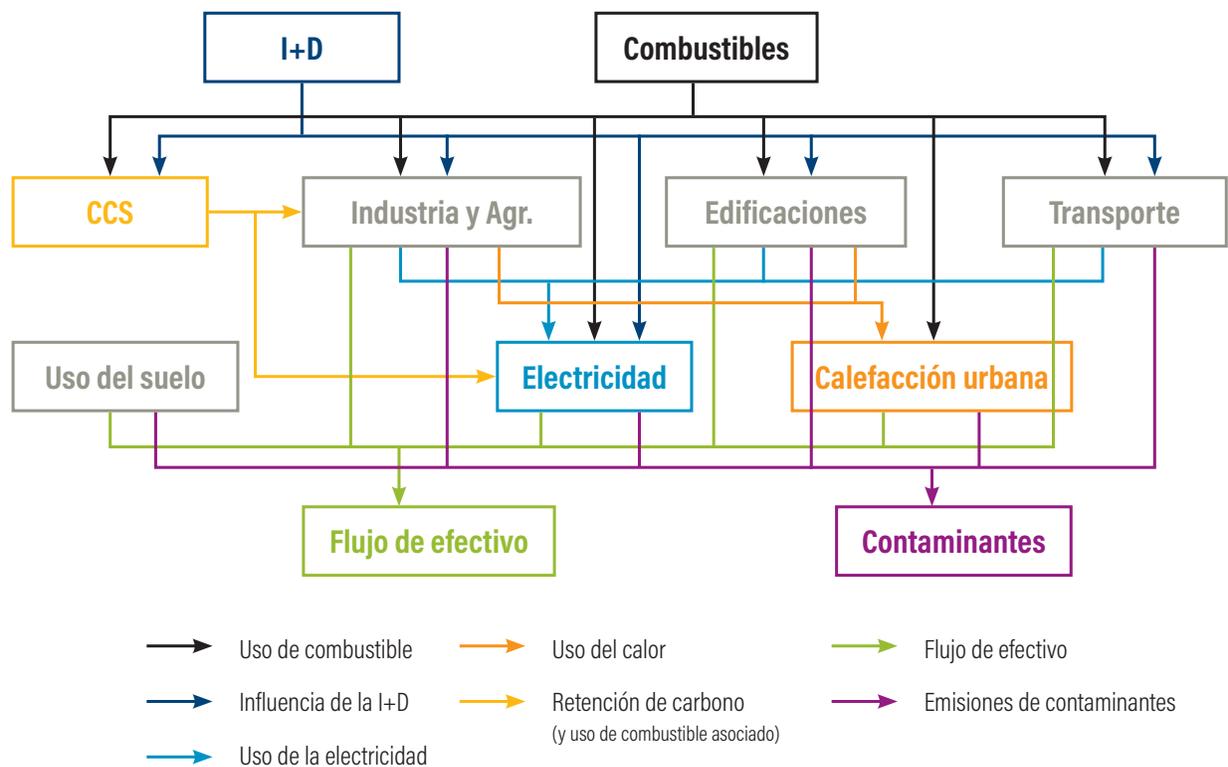
El modelo EPS se ejecuta en Vensim, un software de modelación de dinámica de sistemas de Ventana Systems Inc. En él, los datos de entrada se leen desde archivos planos, que a su vez se generan en archivos de Excel bien documentados para futuras referencias.

El desarrollo del modelo EPS incluyó una aplicación web con una arquitectura técnica de alto nivel que facilita y simplifica el uso y revisión del modelo. La interfase web muestra los resultados más significativos del modelo en gráficas descargables y fáciles de leer, que incluyen tendencias en emisiones, diagramas de cuñas que ilustran el abatimiento logrado con las diferentes políticas, curvas de costo

marginal para políticas seleccionadas, aspectos financieros, beneficios sociales y resultados específicos para cada uno de los sectores incluido en los escenarios desarrollados. La aplicación web también contiene una breve descripción de cada política, una extensa documentación sobre los cálculos, la arquitectura del modelo y una aclaración sobre cómo diseñar cada política correctamente. Se puede acceder a la aplicación web en <https://mexico.energypolicy.solutions>.

El EPS utiliza un escenario de referencia que se ve afectado en respuesta a la configuración de políticas establecida por el usuario. El escenario de referencia para México se desarrolló en el modelo a partir de documentos oficiales como el Inventario Nacional de Emisiones de GEI (INECC 2018a), el Inventario Nacional Forestal y de Suelo (CONAFOR 2009), datos de uso de energía de la Secretaría de Energía (SENER), estudios prospectivos (SENER 2018), y estudios técnicos reconocidos, incluyendo el modelo de línea de base de Prospectivas sobre Sistemas Energéticos a Largo Plazo (POLES) (Danish Energy Agency 2015) o la proyección de

Figura 1 | Diagrama simplificado de la estructura del EPS



Nota: La demanda de energía se determina en cada sector (industria, edificaciones y transporte) y se satisface con las reservas de combustible o la generación de electricidad, lo que a su vez determina las emisiones contaminantes y los flujos de efectivo.

Fuente: El 2015.

Cuadro 2 | Principales fuentes de datos por componente

ELECTRICIDAD

- Sistema—SENER
- Programa Nacional de Desarrollo del Sistema Eléctrico 2018–2032 (PRODESEN)—SENER
- Balance Nacional de Energía 2016—SENER
- Prospectiva energética 2017–2031
 - Prospectiva de energía renovable
 - Prospectiva de gas natural
 - Prospectiva de la industria petrolera
 - Prospectiva del sector de electricidad

INDUSTRIA

- Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2015
- Compromisos de mitigación y adaptación al cambio climático 2020–2030—INECC
- Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10–20–40—SEMARNAT / INECC
- Sistema de Información Energética—SENER
- Balance Nacional de Energía 2016—SENER
- Estudios prospectivos de energía 2017–2031

TRANSPORTE

- Base de datos de las flotas de transporte en circulación de México EPA MOVES—INECC
- Precios de vehículos y composición de flota—INEGI
- Estadísticas ferroviarias anuales—SCT
- La aviación comercial en números—SCT (1991–2016)
- Estadísticas anuales sobre el transporte marítimo—SCT

EDIFICACIONES

- Encuesta Nacional de Hogares—INEGI
- Estadísticas anuales de la Industria Mexicana de la Construcción—CMIC
- Sistema de Información Energética—SENER
- Balance Nacional de Energía 2016—SENER
- Estudios de generación distribuida—CRE

USO DEL SUELO

- Uso del Suelo, Cambio de uso del Suelo y Silvicultura—(LULUCF)
- Reporte de costos de reforestación, restauración y mantenimiento—CONAFOR
- Inventarios Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2015 (INEGyCEI)—INECC

INTERSECTORIAL

- Perspectivas de Tecnología Energética (CCS)—Agencia Internacional de Energía
- Programa de Calidad del Aire para la Megalópolis del Centro de México 2017–2030—CAME
- Impactos de la contaminación del aire—INECC

Fuente: EPS México 2018.

flotas de la EPA Moves México (INECC 2016b). Al seguir este enfoque, pudimos aprovechar el trabajo existente y los datos oficiales, al mismo tiempo que proporcionamos nuevas capacidades para analizar opciones de política.

El modelo EPS está diseñado para operar a escala nacional y se enfoca en cinco sectores: transporte, suministro de electricidad, edificaciones, industria (que incluye petróleo y gas, agricultura y manejo de desechos) y uso del suelo (ver Figura 1). El modelo reporta los resultados en intervalos anuales de 2017 a 2050.

El EPS incluye un conjunto integrado por 58 políticas que comprenden las principales acciones de reducción identificadas para cada sector. El EPS permite al usuario controlar cada una de estas políticas y ver en tiempo real cómo afectan el uso de energía y las emisiones. Entre las políticas incluidas están el impuesto al carbono, los estándares de eficiencia energética para vehículos, el control de fugas de metano de la industria y el avance acelerado en investigación y desarrollo (I+D) de varias tecnologías. Para representar mejor las posibles acciones, el modelo permite desarrollar calendarios de implementación individuales para cada política.

El modelo arroja las siguientes salidas:

- Emisiones de 12 contaminantes diferentes: dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), partículas finas (PM_{2.5}) y otros ocho, agregando los GEI según su equivalencia a dióxido de carbono (CO₂e).
- Impacto directo en los flujos de efectivo (costos o ahorros) para los consumidores, la industria y el gobierno.
- Beneficios en salud, debidos a la disminución en la mortalidad asociada a la exposición a contaminantes.
- Capacidad y generación eléctrica por tecnología y combustible.
- Consumo energético por tecnología y combustible.

Datos de entrada

El modelo tiene importantes requisitos de datos y exige el uso de una gran variedad de fuentes (ver Cuadro 2). En algunos casos, los datos de entrada requeridos son muy específicos, por ejemplo la cantidad de kilómetros que viajan los pasajeros a través de diferentes tipos de vehículos, o la cantidad de combustible utilizado por diferentes industrias. Los datos seleccionados para el modelo fueron validados comparando entre fuentes alternativas.

Para elegir entre las fuentes de datos disponibles, utilizamos los siguientes criterios de prelación:

- Los datos de fuentes del gobierno mexicano son siempre la opción preferida.
- La segunda opción es usar datos específicos de México, publicados por fuentes acreditadas, como la Agencia Internacional de Energía o la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- Cuando no se disponía de datos específicos para México, se utilizaron datos regionales o internacionales para representar a México, ajustados por población, PIB u otros factores, según correspondía.
- Finalmente, cuando no se disponía de datos de ninguna de las fuentes mencionadas anteriormente, extrapolamos los valores disponibles utilizando proyecciones del PIB, población u otros factores relevantes para México.

El EPS México considera seis componentes principales, agregando los ocho sectores generalmente reportados en México (ver el Cuadro 1).

Es importante destacar que la estructura del modelo agrega, en el componente de Industria, tres sectores que normalmente se reportan por separado en México: agricultura, gestión de residuos y el sector industrial. El sector industrial se divide asimismo en seis subsectores: petróleo y gas, cemento y otros carbonatos, hierro y acero, productos químicos, minería de carbón y otras industrias. Para los fines de esta publicación, hemos analizado el petróleo y gas por separado del resto de los subsectores industriales, debido al peso que este subsector tiene en México y al hecho de que en él hay una mezcla entre los sectores público y privado.

El componente de edificaciones, por su parte, se subdivide entre los subsectores residencial urbano, residencial rural y comercial. El sector comercial incluye edificaciones públicas o gubernamentales.

El sector transporte refleja la demanda de combustible y las emisiones del transporte público y privado, tanto en carretera como fuera de ella. El transporte por carretera incluye vehículos ligeros (LDV), vehículos pesados (HDV) para uso de pasajeros y carga, y motocicletas. El transporte no carretero incluye al ferrocarril, barcos y a la aviación.

El uso del suelo se modela de una manera más general que los otros sectores, ya que no implica ningún uso de energía. Las emisiones por uso del suelo para el caso de referencia fueron obtenidas del Inventario Nacional de GEI. El potencial de reducción de emisiones involucra tres políticas forestales: aforestación y reforestación, reservas forestales y manejo forestal mejorado. El nivel de implementación de cualquiera de estas políticas se define por el usuario del modelo. Es relevante tener en cuenta que, de conformidad con la metodología utilizada para definir la línea base de la NDC de México, las emisiones por uso del suelo restante (absorciones)¹ no se consideran. En este informe,

sólo se contabilizan las emisiones por los cambios de uso del suelo.

El componente de electricidad determina las emisiones y los cambios en el flujo de efectivo que se derivan de satisfacer la demanda de electricidad de los sectores de la industria, las edificaciones y el transporte de la manera menos costosa, dentro de las limitaciones técnicas y reglamentarias contenidas en el modelo. Esto incluye los factores de carga, la generación de energía pico o no pico, la capacidad de importación y exportación, los puntos de flexibilidad, la capacidad de transmisión de la red eléctrica y las regulaciones tales como los estándares de energía renovable o la prohibición de tipos específicos de planta.

El componente de captura y secuestro de carbono (CCS, por sus siglas en inglés) incluye tanto su contribución como sumidero de carbono en las centrales eléctricas e instalaciones industriales, como la demanda de energía requerida por el propio proceso de CCS. Las políticas para promover el uso de las tecnologías de CCS suelen consistir en políticas de precios al carbono para sectores específicos o para toda la economía, o límites de emisiones para algunas instalaciones.

El componente de calefacción urbana no se usa en el modelo de México, ya que no existe una necesidad o uso generalizado de esta tecnología. En el modelo, este componente se enlaza con el sector industrial, lo que permite sinergias con tecnologías de calor y energía combinada (derivado de la demanda de calor en los sectores comercial y residencial).

Limitaciones del Modelo

El uso del EPS para el tipo de análisis que se presenta en este reporte puede tener las siguientes limitaciones:

- El Energy Policy Simulator se basa en diversos estudios científicos y resultados de algunas modelaciones para establecer los efectos de diversas políticas en emisiones y costos. Los estudios en los que se basa generalmente establecieron estas relaciones bajo un conjunto particular de condiciones del mundo real, pero estas condiciones no pueden reflejar todas las mezclas de políticas posibles que un usuario

Tabla 1 | EPS México—Agregación Sectorial

COMPONENTE DEL EPS	INCLUYE	FLUJO DE ENERGÍA O ÁREA
Electricidad	Electricidad	Generación de energía
Industria	Petróleo y gas	Generación/uso de energía
	Industrial	Uso de energía
	Agricultura	Uso de energía/ Uso del suelo
	Gestión de residuos	Uso de energía/ciudades
Edificaciones	Edificaciones	Uso de energía/ciudades
Calefacción urbana	No empleado en el modelo de México	Uso de energía/ciudades
Transporte	Transporte	Uso de energía/ciudades
Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (LULUCF)	(LULUCF)	Uso del suelo

Fuente: EPS México 2018.

puede seleccionar. Dado que en la mayoría de los casos, el efecto de las políticas se estima con respecto al escenario de referencia, la aplicación simultánea de múltiples políticas genera insertidumbre en el cálculo de sus efectos.

- Es difícil caracterizar numéricamente la incertidumbre para este modelo debido a que los datos de entrada carecen de información cuantitativa respecto a su incertidumbre asociada. Incluso si tales límites hubieran estado disponibles, habría sido difícil computarlos a través del modelo para definir la incertidumbre del resultado final de una cierta corrida.
- Debido a las limitaciones en los datos disponibles sobre México y al uso necesario de valores de Estados Unidos para ciertas variables, algunas respuestas de política pueden ser más grandes o más pequeñas en la magnitud que arroja el modelo que en la realidad. Por ejemplo, el ingreso promedio de los hogares es más bajo en México que en Estados Unidos, muchas elasticidades de precios pueden ser más bajas en Estados Unidos que en México (ya que los consumidores más ricos son menos sensibles a los precios), lo que provoca que los efectos estimados de estas políticas en México sean más conservadores.
- Los criterios para la reducción de las emisiones de contaminantes y sus beneficios en salud se determinan como una estimación aproximada y no son específicos para la región. Sólo sirven como un indicador sobre los posibles beneficios de las acciones de mitigación evaluadas.

Participación de actores clave

Como parte de nuestro enfoque de investigación, el desarrollo del modelo y sus resultados preliminares se presentaron y analizaron ampliamente en dos talleres abiertos a instituciones gubernamentales, organizaciones independientes, agencias internacionales, cámaras del sector privado y expertos reconocidos en energía, transporte, industria, y sectores relacionados con el uso del suelo. El taller inicial (desarrollo del modelo) se realizó en marzo de 2018. Allí, abordamos las fuentes de información

y discutimos las mejores alternativas para asegurar que fuera lo más completa y actualizada posible, exploramos las políticas de reducción que serían modeladas e identificamos actores relevantes para una mayor discusión sobre temas específicos. El segundo taller (resultados preliminares) se llevó a cabo en junio de 2018. En él se presentaron los avances y los resultados iniciales, y se discutieron propuestas adicionales para fortalecer el ejercicio de modelación. Durante este taller, los participantes tuvieron la oportunidad de comprender el uso de la herramienta web del modelo para revisar sus resultados a detalle, proponer diferentes escenarios en general o estudiar metodologías para cada una de las políticas contempladas. Con ambos talleres, logramos el objetivo de presentar la herramienta de modelación a los usuarios potenciales y de aumentar la solidez de las fuentes de información y el análisis posterior.

Otras consultas se habían llevado a cabo también durante el proceso de redacción del documento de trabajo (Altamirano et al. 2016) que sirve como base para este reporte. Estas consultas fueron útiles para adaptar el modelo y que representara mejor a México.

Calibración del modelo

Una vez que el EPS tuvo todos los datos de entrada requeridos y se realizó el taller de desarrollo de modelos con los actores clave, fue revisado y calibrado. La calibración se llevó a cabo en un proceso detallado que involucró una verificación de la consistencia de los datos y un análisis de sensibilidad. El modelo también fue probado con análisis previos sobre estrategias de mitigación para México. Los más relevantes y útiles en este proceso, debido a su nivel de detalle, fueron la línea base NDC 2013 del INECC, la curva MAC del INECC de 2012, la calculadora 2050 y el balance de Energía y Emisiones realizado con el modelo POLES. También se utilizaron otros estudios para el control *in situ* de sectores individuales o medidas específicas.



ESCENARIO DE REFERENCIA

El escenario de referencia es una trayectoria de emisiones contra la cual se pueden comparar escenarios de reducción alternativos hasta 2050. Se puede conceptualizar como un escenario BAU que no considera ningún instrumento de política. Se definió teniendo en cuenta una serie de supuestos, y aunque sigue una trayectoria similar, no debe confundirse con la línea base oficial referida en la NDC de México, la cual sólo se proyecta hasta el 2030.

Escenario de referencia

El modelo opera con un caso de referencia que se construye a partir de los datos del escenario BAU, y representa la trayectoria actual de emisiones de México en todos los sectores modelados, sin interferencia de políticas y acciones de reducción adicionales.

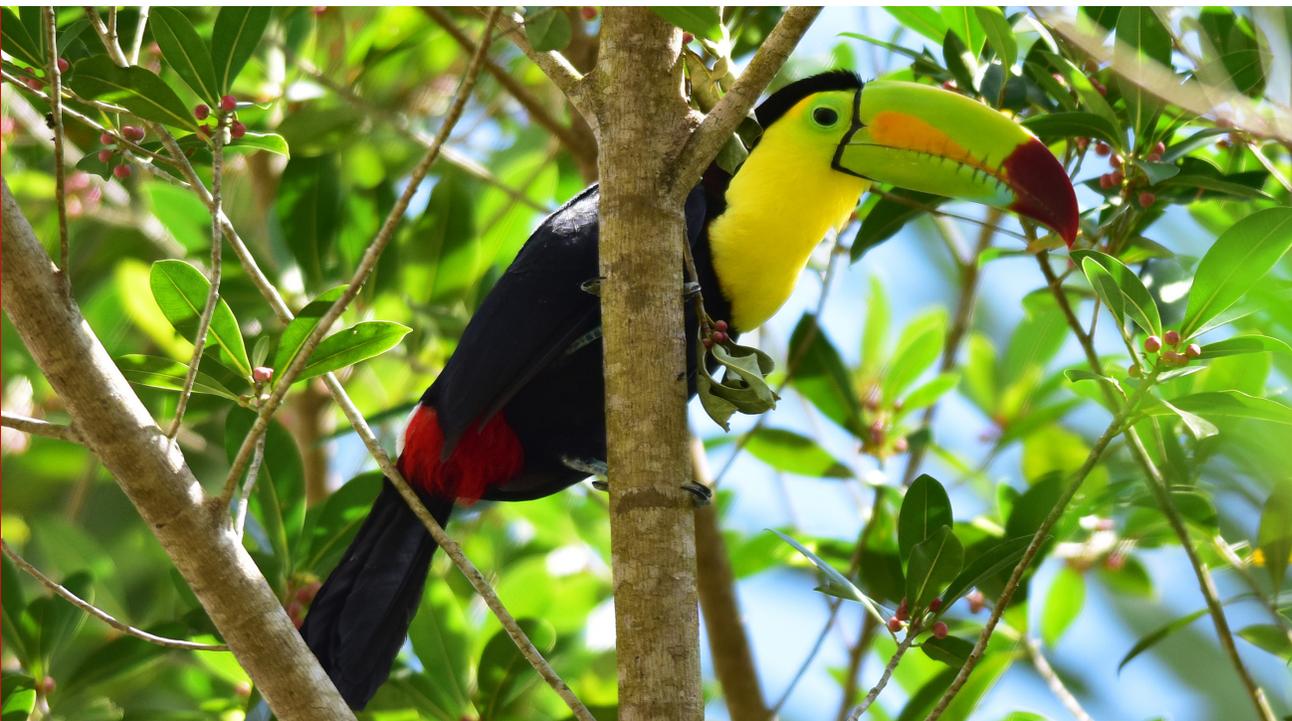
El caso de referencia puede resumirse de la siguiente manera:

- **HORIZONTE DE PLANIFICACIÓN:** año base 2016, horizonte de modelación 2017 a 2050: Determinado a partir de estudios prospectivos sobre la demanda energética (combustibles y electricidad), factores de emisión de todos los contaminantes y emisiones de LULUCF. Generalmente, la información detallada de los estudios prospectivos de México llega al año 2030–31, por lo que las tendencias se extendieron de acuerdo a la más reciente información disponible para llegar al 2050.
- **ALCANCE:** El modelo se enfoca en las emisiones de GEI y de los contaminantes criterio asociados², y en los costos y beneficios financieros de la implementación (considerando los gastos de capital y los costos operativos).
- **ESCALA:** México se modeló como país, sin divisiones regionales o políticas y los datos nacionales se obtuvieron a partir de estudios que reportaron un total nacional. El modelo incluye los principales sectores de la economía.
- **UNIDADES:** Las emisiones de GEI se expresan en tCO₂e (o MtCO₂e en donde se indique). Las emisiones de contaminantes criterio se expresan

en miles de toneladas (toneladas métricas). Los costos se expresan en dólares estadounidenses del año 2012.³

- **SUPUESTOS:** Las fuentes de datos compatibles se obtuvieron en la medida de lo posible a partir de estudios prospectivos que cubren el mismo horizonte de planificación y que utilizan los mismos supuestos básicos de población, Producto Interno Bruto, precios de los combustibles, el costo del capital y un conjunto de políticas y estándares. La prospectiva energética considera la reciente reforma energética de México y la legislación sobre la transición energética, el actual impuesto al carbono y el mercado no relacionado al carbono.
- **SUPUESTOS SOBRE LOS COSTOS DE ABATIMIENTO:** Se utilizaron, en la medida de lo posible, los datos de otros estudios que contienen los costos de abatimiento para México. Cuando éstos no estuvieron disponibles, se utilizaron datos regionales o generales obtenidos de fuentes fidedignas.

Es importante tener en cuenta que la línea base de emisiones de GEI⁴ oficial de México y el caso de referencia del EPS para México no representan lo mismo. La línea base proyecta futuras emisiones de GEI en ausencia de acciones de mitigación de emisiones, mientras que el caso de referencia proyecta una tendencia desde el contexto actual (año base 2016). El caso de referencia utiliza un inventario actualizado de GEI y nuevas proyecciones sobre la demanda energética y el consumo de combustible (estudios prospectivos de energía).



Cualquier diferencia entre ellos no implica un aumento o reducción de las emisiones, ya que la mayoría de las desviaciones corresponden a diferencias en los datos. Incluso si los datos actualizados pueden provenir de cambios en el caso prospectivo debido a las nuevas políticas o acciones que afectan las emisiones actuales y futuras, también hay diferencias en los factores de emisión, niveles de actividad y metodologías, lo que da como resultado un cálculo de emisiones que no corresponde a las determinaciones oficiales y por lo tanto no es totalmente comparable. En otras palabras, el modelo EPS no es un sustituto y no trata de hacer el mismo cálculo de emisiones que la línea base oficial. Como se indicó anteriormente, los datos se ingresaron en el modelo según lo definido por la metodología EPS y siguiendo la lógica de usar los valores oficiales más actualizados disponibles.

Trayectoria del escenario de referencia

El escenario de referencia determina una trayectoria de emisiones a partir de la cual se calcula una reducción. Comienza con 738 MtCO₂e en 2017, incrementando a 902 MtCO₂e en 2030 y alcanzando 1,311 MtCO₂e en 2050 (ver Figura 2). Esto corresponde a una tasa de crecimiento anual de 1.8 por ciento de 2017 a 2050. El sector eléctrico es el sector que domina en las emisiones totales de GEI en 2017 (22 por ciento), aunque éste crece a un ritmo más lento que el total (0.8 por ciento), por lo que llega a representar solamente el 16 por ciento de las emisiones en 2050, sobre todo debido a mejoras en la eficiencia. El sector con las emisiones más altas para 2050 es el sector transporte, que pasa de representar el 21 por

ciento de las emisiones totales en 2017 al 24 por ciento para 2050, principalmente debido al crecimiento de la flota vehicular. De manera similar, el crecimiento del sector industrial da como resultado un aumento en su participación relativa, que pasa del 16 por ciento en 2017 hasta un 20 por ciento para 2050. El sector de petróleo y gas muestra el mayor crecimiento, con un 3.4 por ciento anual, pasando de aportar el 9 por ciento de las emisiones totales en 2017 al 16 por ciento en 2050. Los sectores de agricultura y manejo de residuos muestran un crecimiento similar a la de las emisiones totales, por lo que mantienen una participación constante (13 y 6 por ciento respectivamente, en 2050). Los sectores de construcción y uso del suelo son los únicos que muestran una disminución de sus emisiones en el caso de referencia. Esto se deriva de las mejoras en eficiencia esperadas en el sector de construcción y a una tendencia hacia la mejora en las acciones forestales (ver Figura 3).

Una comparación entre la línea base oficial de la NDC (Gobierno de la República 2015) y el caso de referencia del EPS es útil para comprender sus diferencias. Las variaciones del sector industrial, de gestión de residuos, agricultura y uso del suelo, se derivan de las diferencias en sus datos de origen. La línea base de la NDC se basó en el Inventario Nacional de GEI 2013, mientras que el caso de referencia del EPS se basa en la versión actualizada del inventario de 2015. Por otro lado, las variaciones en los sectores de construcción, petróleo y gas, transporte y electricidad provienen de diferentes enfoques metodológicos. Las trayectorias totales

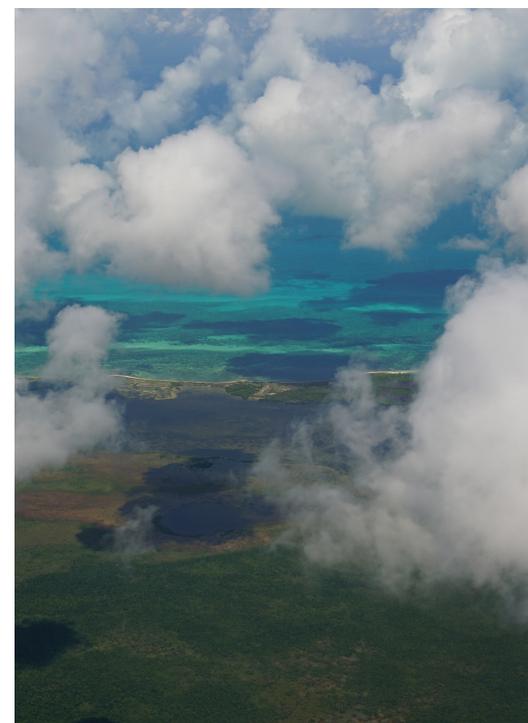
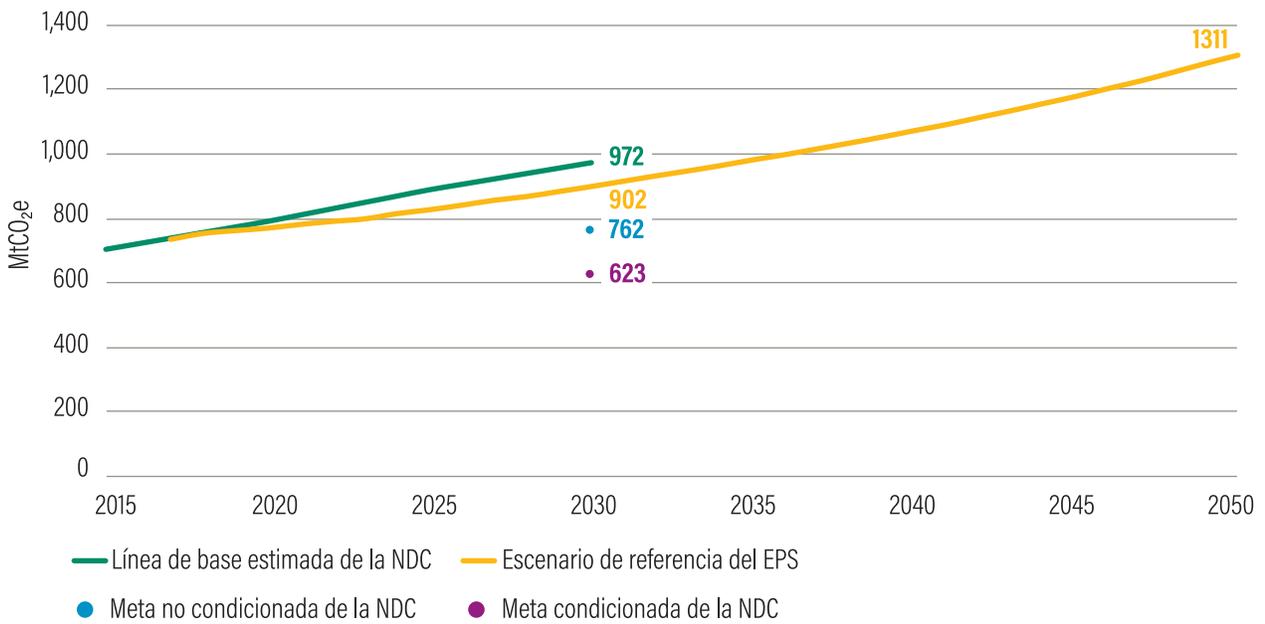
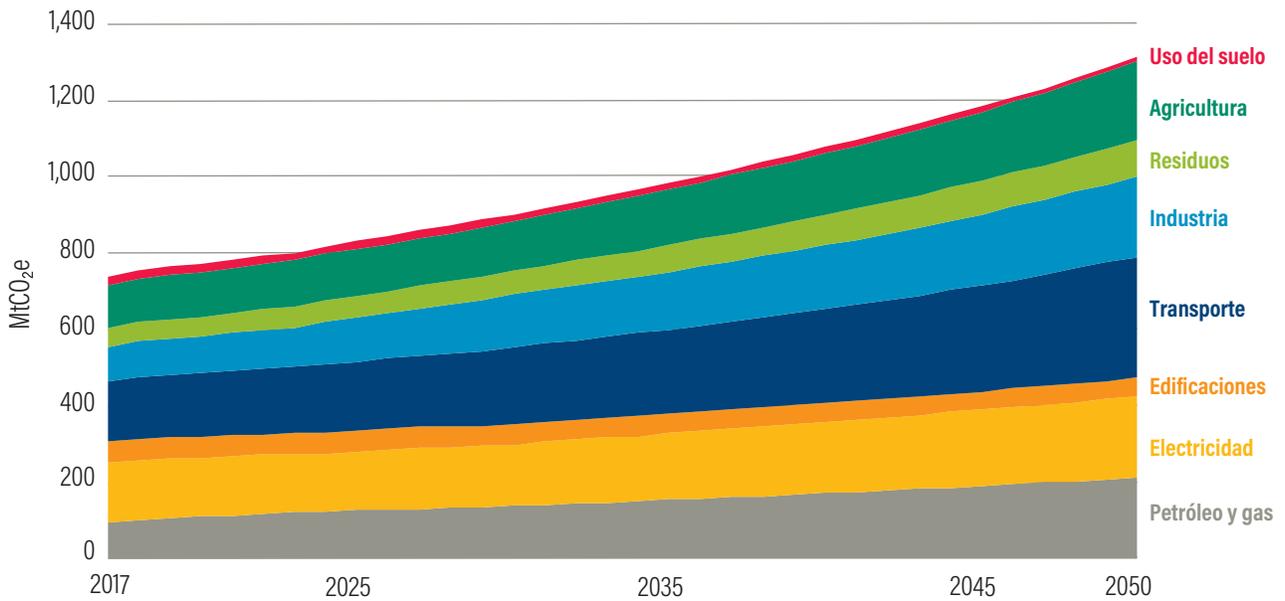


Figura 2 | Escenario de referencia: trayectoria de emisiones



Fuente: EPS México 2018.

Figura 3 | Escenario de referencia: división por sector



Fuente: EPS México 2018.

de emisiones muestran una diferencia de 3 MtCO₂e (0%) en 2017, y una diferencia de 70 MtCO₂e (7%) en 2030 (ver Tabla 2).

En las siguientes secciones se presentan los principales resultados del ejercicio de modelación. Comenzamos describiendo los escenarios que se

diseñaron y analizaron, para después explicar y discutir los resultados en términos de las variables relevantes, incluyendo las emisiones, los costos y los cobeneficios asociados a los instrumentos de política.

Tabla 2 | Comparación entre el escenario de referencia y la línea base estimada en la NDC por sector

SECTOR	LÍNEA BASE ESTIMADA DE LA NDC 2017 (MTCO ₂ E)	ESCENARIO DE REFERENCIA EPS 2017 (MTCO ₂ E)	DIFERENCIA	LÍNEA BASE ESTIMADA DE LA NDC 2030 (MTCO ₂ E)	ESCENARIO DE REFERENCIA EPS 2030 (MTCO ₂ E)	DIFERENCIA
Edificaciones	27	55	28	28	53	25
Transporte	169	159	(10)	229	199	(30)
Electricidad	136	160	24	202	164	(38)
Petróleo y gas	108	68	(40)	137	100	(37)
Industria	148	118	(30)	202	177	(25)
Residuos	36	48	12	49	59	10
Agricultura	85	112	27	93	134	41
Uso del suelo	32	18	(14)	32	16	(16)
TOTAL	741	738	(3)	972	902	(70)
			0%			-7%

Fuente: Gobierno de la República 2015; EPS México 2018.





RESULTADOS

La comparación entre escenarios de política alternativos y el caso de referencia ilustra las ganancias potenciales en términos de reducción de GEI durante el horizonte de modelación, así como los costos y cobeneficios asociados. El mayor enfoque está en el escenario de la NDC condicionada, el cual acercaría a México a una reducción de emisiones alineada con los objetivos de calentamiento global del Acuerdo de París. El potencial de mitigación puede ser desagregado por sector y estrategia. Se identificó una combinación de 21 estrategias de política con base en su potencial de mitigación, costo y factibilidad.

Para este análisis se diseñaron dos escenarios de política⁵:

- El escenario de la NDC no condicionada, con estrategias de política adecuadas para alcanzar la meta no condicionada de la NDC de México a 2030 de 22 por ciento de reducción de GEI en comparación con la línea base.
- El escenario de la NDC condicionada, con estrategias de políticas adecuadas para alcanzar la meta de la NDC condicionada de México a 2030, de 36 por ciento de reducción de GEI en comparación con la línea base.

La trayectoria de las emisiones en cada uno de estos escenarios evoluciona como se ilustra en la Figura 4.

Resultados del escenario de la NDC condicionada

Este informe se concentra en el escenario de la NDC condicionada, debido a que éste se acerca más a la contribución requerida por México para lograr los objetivos del Acuerdo de París y porque la mayoría de las condiciones que se plantearon para transitar a una trayectoria de mitigación más ambiciosa (Gobierno de la República 2015) ya se han cumplido. Estas condiciones incluyen alcanzar un acuerdo global que aborde temas como un precio internacional al carbono, la cooperación técnica,

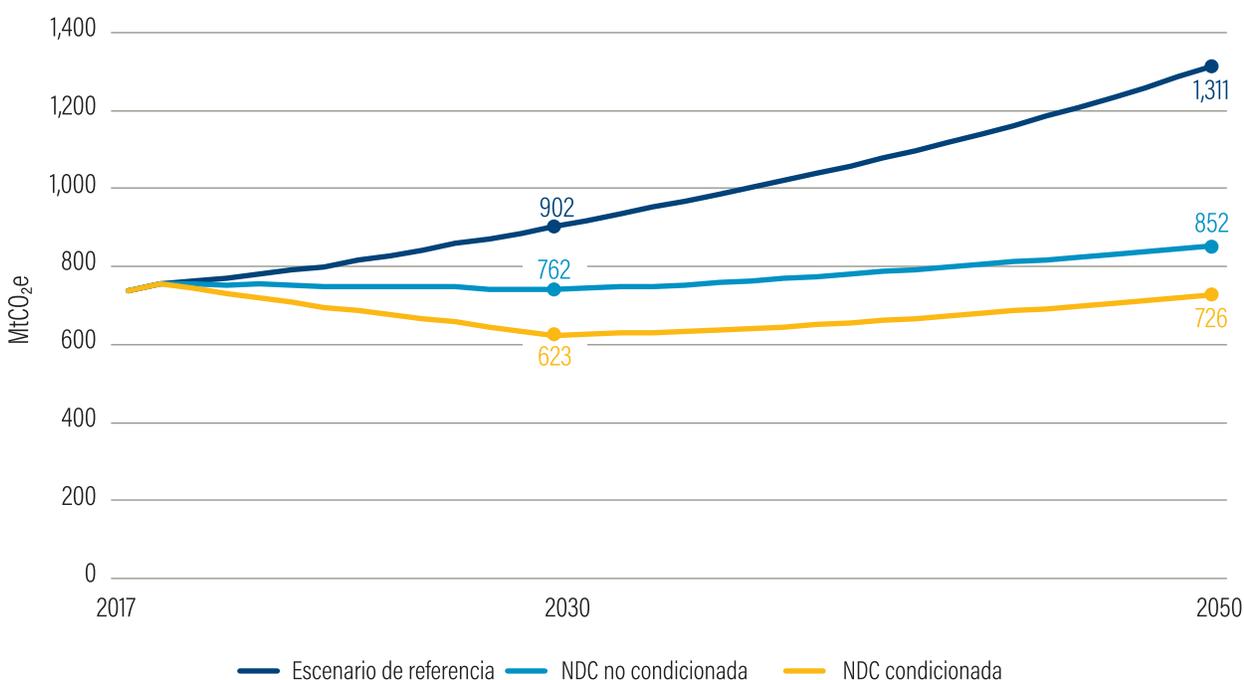
el acceso a recursos financieros de bajo costo y la transferencia de tecnología.

La siguiente sección detalla los resultados más relevantes del modelo para el escenario de la NDC condicionada. Estos se presentan primero en conjunto y luego por sector. Los resultados ilustran los efectos de las estrategias de política aplicadas sobre las emisiones de GEI y otras variables relevantes, como la generación y el consumo de electricidad, la composición de la flota vehicular, o el uso del suelo, según la naturaleza de la política.

Portafolio de políticas del escenario de la NDC condicionada 2017-2030

Identificamos una combinación de 21 estrategias de política con las que sería posible lograr la NDC condicionada a bajo costo. Las políticas fueron seleccionadas con base en su factibilidad, potencial de reducción y costo marginal. La Tabla 3 muestra la descripción y el nivel de implementación requerido para cada una de ellas. El nivel de implementación indicado para cada estrategia de política, en la tercera columna de la tabla, ilustra ya sea un porcentaje respecto al potencial técnico de abatimiento total o un valor de entrada previamente definido.

Figura 4 | EPS México - Trayectorias de Emisiones por Escenario Modelado



Fuente: EPS México 2018.

Tabla 3 | Escenario de la NDC condicionada—Portafolio de políticas

POLÍTICA	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA PARA 2030, (% DEL POTENCIAL IDENTIFICADO)	EFFECTO DE LA POLÍTICA PARA 2030	REDUCCIÓN DE GEI PARA 2030 (MtCO ₂ e)
Eficiencia energética				
Estándares de eficiencia energética en la industria	Aumenta la eficiencia de los equipos industriales de todos los subsectores industriales mediante la aplicación de estándares más estrictos, lo que reduce el consumo de combustible.	20%	Incremento de la tasa de mejora de eficiencia energética del 1.2% en el caso de referencia al 1.44%, lo que reduce el consumo de energía por año. El potencial máximo identificado es de 2.4% por año.	20.6
Cogeneración industrial y recuperación de calor residual	Reduce el consumo de combustible en el sector industrial a través de la cogeneración y la mejora de las tecnologías de conservación del calor.	100%	Reduce el consumo de combustible al potencial máximo identificado de 7.87%.	8.2
Sustitución de clinker en la producción de cemento	Sustituye una porción de clinker en la composición del cemento con otros insumos como cenizas, lo que reduce las emisiones de CO ₂ derivadas de la producción de clinker.	100%	Reduce la proporción de clinker en el cemento al potencial máximo identificado, del 84% en el caso de referencia al 70%.	9.0
Emisiones de contaminantes diferentes al CO₂ (Metano y Gases Fluorados)				
Captura de metano	Reduce las emisiones de metano a la atmósfera mediante la captura y mejora en la contención y uso en la producción de petróleo y gas, la minería y la gestión de residuos.	100%	Reduce las emisiones de metano al máximo potencial identificado: 39% de reducción en el sector petróleo y gas, 5% en minería y 24% en gestión de residuos.	44.8
Destrucción de metano	Reduce las emisiones de metano del sector industrial aumentando la quema de metano que actualmente se está liberando a la atmósfera debido a procesos industriales.	100%	Reduce las emisiones destruyendo el exceso de metano al máximo potencial identificado: 36% en minería y 1% en gestión de residuos.	8.4
Reducción de emisiones de gases fluorados	Reduce las emisiones de gases fluorados (con alto potencial de calentamiento global) del sector industrial al mejorar los procesos de producción y al sustituir los productos por químicos menos dañinos.	100%	Reduce las emisiones de gases fluorados al potencial máximo identificado: 81% en la industria química y 3% en otros sectores industriales.	13.3
Precios al carbono				
Impuesto al carbono en los sectores de electricidad, transporte e industria	Esta política aplica un impuesto a los combustibles utilizados en los sectores de electricidad, transporte e industria en función de sus emisiones de gases de efecto invernadero.	50 dólares/tCO ₂ e	El impuesto al carbono aumenta los costos de combustible según su contenido de carbono y el costo base de los equipos de capital de acuerdo con su contenido de carbono incorporado.	48.5

Tabla 3 | Escenario de la NDC condicionada—Portafolio de políticas

POLÍTICA	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA PARA 2030, (% DEL POTENCIAL IDENTIFICADO)	EFFECTO DE LA POLÍTICA PARA 2030	REDUCCIÓN DE GEI PARA 2030 (MtCO ₂ e)
Generación de electricidad				
Estándar para el portafolio de energías renovables	Determina la fracción de la generación de electricidad que debe provenir de fuentes renovables (eólica, solar y biomasa).	50%	Incrementa la penetración de las energías renovables del 18% en el escenario de referencia al 48%.	16.9
Generación solar distribuida	Determina un mínimo de la demanda eléctrica minorista total (en edificaciones residenciales y comerciales) que se generará mediante sistemas solares distribuidos (generalmente instalaciones de energía solar fotovoltaica en el techo).	15%	Aumenta la capacidad de generación fotovoltaica solar distribuida de 1 GW a 20.9 GW en 2030.	9.4
Retiro temprano de centrales eléctricas: carboeléctricas	Esta política provoca el retiro de una cantidad específica de la capacidad de generación eléctrica con base en el carbón, que de otra manera no sería retirada	750MW	Reduce la generación de electricidad a partir de carbón del 4.7 GW en el escenario de referencia a 0 GW para 2030, trabajando en conjunto con otras políticas, como el impuesto al carbono.	9.1
Uso del suelo (agricultura, ganadería y silvicultura)				
Aforestación y reforestación	Aumenta el secuestro de CO ₂ por acciones de aforestación y reforestación. Se asume que los bosques plantados son manejados adecuadamente (no utilizados para la extracción de madera).	100%	Acciones adicionales de aforestación y reforestación en 0.9 millones de hectáreas para 2030.	2.4
Gestión de bosques	Aumenta el secuestro de CO ₂ en los bosques a través de mejores prácticas de manejo forestal, que incluyen técnicas mejoradas de raleo, períodos de rotación más largos y otros cambios en la extracción de madera.	100%	Acciones mejoradas adicionales de manejo forestal en 4.5 millones de hectáreas para el 2030.	4.5
Reservas forestales	Esta política evita la liberación de CO ₂ de los bosques al reducir la extracción de madera.	100%	1.3 millones de hectáreas de nuevas Áreas Naturales Protegidas y Áreas de Manejo Ambiental para 2030.	4.1
Manejo de tierras de cultivo	Esta política reduce las emisiones de GEI de la agricultura a través de prácticas de manejo de tierras de cultivo, como la mejora de las rotaciones de los cultivos, la reducción de la labranza del suelo y las mejoras en la composición y la aplicación de fertilizantes.	50%	Implementación de acciones para lograr el 50% del potencial de reducción técnico identificado (9.5% de reducción de emisiones de tierras de cultivo). Una reducción adicional sería demasiado onerosa.	2.0

Tabla 3 | Escenario de la NDC condicionada—Portafolio de políticas (Continuación)

POLÍTICA	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA PARA 2030, (% DEL POTENCIAL IDENTIFICADO)	EFECTO DE LA POLÍTICA PARA 2030	REDUCCIÓN DE GEI PARA 2030 (MtCO ₂ e)
Medidas ganaderas	Esta política reduce las emisiones de GEI del sector agropecuario a través de medidas relacionadas con el ganado, como los suplementos alimenticios para prevenir la fermentación entérica y el manejo del estiércol.	50%	Implementación de acciones para alcanzar el 50% del potencial de reducción técnico identificado (5.7% de reducción de emisiones del ganado). Una reducción adicional aumentaría drásticamente el costo (hasta un 300% para el potencial de reducción total).	18.8
Transporte limpio y movilidad				
Cobro-reembolso para vehículos ligeros	Establece una tarifa sobre el precio de los vehículos ligeros ineficientes, que se reembolsará a los compradores de vehículos eficientes, lo que aumentará el ahorro en combustibles de vehículos ligeros. La política de cobro-reembolso es neutral en cuanto a ingresos; todas las tarifas cobradas se aplicarán a reembolsos de vehículos eficientes.	100%	La aplicación de mejores prácticas cobro-reembolso con una tasa de \$727 dólares (aproximadamente \$13,700 MXN) da como resultado un aumento del 48% en la economía promedio de combustible para vehículos ligeros nuevos para 2030 (11.7 a 6.1 km/L).	4.6
Estándares de eficiencia energética: vehículos ligeros a gasolina y vehículos pesados a diésel.	Establece estándares de ahorro de combustible para vehículos ligeros nuevos (principalmente automóviles y SUV) con motores a gasolina, lo que se traduce en una mejora en el ahorro de combustible (distancia recorrida con la misma carga de pasajeros y la misma cantidad de combustible).	100%	La eficiencia energética en vehículos ligeros nuevos aumenta de 11.7 a 20.2 km/L en 2030. El aumento de la eficiencia total para vehículos ligeros gracias a las estrategias de política aplicadas, deriva en una reducción de emisiones del 40% por vehículo en 2030, compensando parcialmente el aumento de emisiones por el incremento de la flota.	7.8
	Establece estándares de ahorro de combustible para vehículos pesados nuevos (camiones y autobuses) con motores a diésel, lo que resulta en un ahorro de combustible (distancia recorrida con la misma carga y la misma cantidad de combustible).	66%	La eficiencia energética en vehículos pesados nuevos aumenta de 2.6 a 3.2 km/L en 2030. El aumento de la eficiencia total de vehículos pesados a partir de estrategias de política aplicadas, deriva en una reducción de emisiones del 33% por vehículo en 2030, compensando parcialmente el aumento de emisiones por el incremento de la flota.	7.8

Tabla 3 | Escenario de la NDC condicionada—Portafolio de políticas (Continuación)

POLÍTICA	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA PARA 2030, (% DEL POTENCIAL IDENTIFICADO)	EFFECTO DE LA POLÍTICA PARA 2030	REDUCCIÓN DE GEI PARA 2030 (MtCO ₂ e)
Estándar de combustible bajo en carbono	Esta política especifica el porcentaje de reducción en las emisiones de carbono del sector del transporte que debe lograrse mediante el cambio de combustible.	10% de reducción de emisiones de carbono.	Las emisiones de carbono por uso de combustible en el transporte se reducen en más de 10%.	13.9
Gestión de la demanda de transporte (TDM por sus siglas en inglés)	<p>Implementación de políticas de TDM dirigidas a reducir la demanda de viajes.</p> <p>La TDM para pasajeros se enfoca en automóviles privados e incluye sistemas públicos de transporte, más senderos para caminar y andar en bicicleta, zonificación para una mayor densidad a lo largo de corredores de transporte, zonificación para desarrollos de uso mixto, cobros de peaje en carreteras y por congestión vehicular, y mayores tarifas de estacionamiento.</p> <p>La TDM de carga está orientada principalmente a desplazar la carga de los camiones al ferrocarril.</p>	100%	Reduce la demanda de viajes al máximo potencial identificado por el escenario IEA-OECD BLUE Shifts.*	15.8
Eficiencia energética en edificaciones				
Estándares de eficiencia en edificaciones	Diseño de estándares de eficiencia energética más estrictos para los componentes de las edificaciones. La política sólo aplica para los equipos nuevos (incluidas las edificaciones nuevas o el reemplazo de equipos en edificaciones existentes y reequipamiento).	10% en calefacción, 20% en enfriamiento y envolvente, 33% en iluminación y equipos electrodomésticos; 10% en otros componentes.	La demanda de energía en las edificaciones disminuye en un 9%, de 1,019 PJ en el caso de referencia a 942 PJ en 2030, debido al efecto combinado del aumento de los estándares.	5.3
Electrificación de componentes en edificaciones	Con esta política se reemplaza una parte de los nuevos equipos no eléctricos en edificaciones urbanas, rurales y comerciales por equipos eléctricos.	50% en zonas urbanas y comerciales; 30% en edificaciones rurales.	Crece el porcentaje de electricidad destinado al uso de equipos dentro de las edificaciones del 41% en el caso de referencia al 51% en 2030, lo que resulta en un aumento del 17% en la demanda de electricidad, pero una reducción de 3.3 MtCO ₂ e en las emisiones de GEI. La demanda total de energía disminuye gracias a la electrificación.	3.3

Nota: *Las políticas de TDM provienen del informe "Transport, Energy, and CO₂: Moving toward Sustainability" (AIE y OCDE 2009).

Fuente: EPS México 2018.

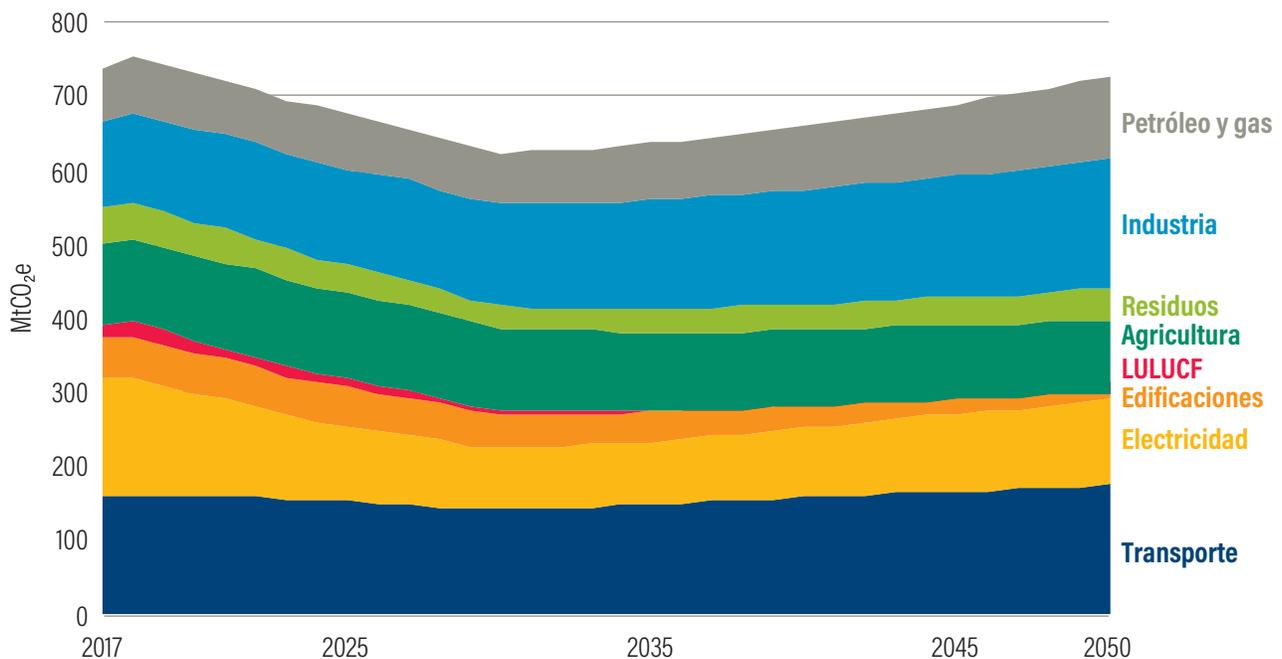
Reducción de emisiones de GEI

Con la implementación de las estrategias de política propuestas en el escenario de la NDC condicionada, las emisiones de GEI disminuyen de 902 MtCO₂e en el caso de referencia a 623 MtCO₂e para 2030, una reducción de 279 MtCO₂e (31 por ciento). En comparación con la línea base reportada en la NDC de México (972 MtCO₂e), la reducción obtenida alcanza 349 MtCO₂e (36 por ciento). En general, tres sectores (electricidad, transporte e industria) contribuyen con casi dos tercios (178 MtCO₂e) de esta reducción (ver Figura 5). Los sectores que presentan la mayor disminución relativa en sus

emisiones son LULUCF con 63 por ciento, gestión de residuos con 52 por ciento y electricidad con 50 por ciento (ver Tabla 4).

En la Tabla 4 se observa un cambio abrupto en la trayectoria de las emisiones de GEI a 2030. Esto se explica por el hecho de que la implementación de políticas, de acuerdo al horizonte de tiempo de la NDC, está modelada para alcanzar la implementación máxima en 2030 o antes. A partir de ahí, no hay una modelación de políticas adicionales, ya que se desconoce la viabilidad de las políticas de reducción y la evolución de la tecnología.

Figura 5 | Escenario de la NDC condicionada: emisiones de GEI por sector



Nota: La línea de emisiones totales cae por debajo de las emisiones del sector acumuladas debido a que el sector LULUCF se volvió negativo (un sumidero neto de carbono) para 2036.

Fuente: EPS México 2018.

Tabla 4 | Escenario de la NDC condicionada: reducción de emisiones de GEI por sector en 2030

SECTOR	ESCENARIO DE REFERENCIA EMISIONES EN 2030 (MTCO ₂ E)	ESCENARIO DE LA NDC CONDICIONADA EMISIONES EN 2030 (MTCO ₂ E)	REDUCCIÓN LOGRADA EN 2030 (MTCO ₂ E)	VARIACIÓN
Transporte	199	143	-56	-28%
Electricidad	164	81	-83	-51%
Edificaciones	53	47	-6	-11%
LULUCF*	16	6	-10	-63%
Agricultura	134	111	-23	-17%
Residuos	59	29	-30	-51%
Industria	177	138	-39	-22%
Petróleo y gas	100	68	-32	-32%
TOTAL	902	623	-279	-31%

Nota: *Con respecto a las emisiones reportadas en la línea base BAU de la NDC de México (972 MtCO₂e para 2030), el escenario de la NDC condicionada proyecta una reducción de 349 MtCO₂e (36% en comparación con la línea base) para 2030.

Fuente: EPS México 2018.

Para 2050, la reducción total es equivalente al 42 por ciento de las emisiones respecto al escenario de referencia. A largo plazo se puede observar una mayor distribución de la carga de mitigación entre todos los sectores. Solo dos sectores (transporte y electricidad) contribuyen con casi el 43 por ciento de la reducción total. El sector LULUCF alcanza emisiones netas negativas para 2050, lo que implica

que los objetivos de deforestación neta cero se han cumplido y el sector forestal se convierte en un sumidero de carbono, que absorbe 15 MtCO₂e (ver Tabla 5). Podemos observar que, sin más acciones, México no estaría en camino para alcanzar la meta de su Estrategia a Largo Plazo de 50 por ciento de reducción de emisiones en términos absolutos con respecto al año 2000.

Tabla 5 | Escenario de la NDC condicionada: reducción de emisiones de GEI por sector en 2050

SECTOR	ESCENARIO DE REFERENCIA EMISIONES EN 2050 (MTCO ₂ E)	ESCENARIO DE LA NDC CONDICIONADA EMISIONES EN 2050 (MTCO ₂ E)	REDUCCIÓN LOGRADA EN 2050 (MTCO ₂ E)	VARIACIÓN
Transporte	317	175	-142	-45%
Electricidad	212	115	-97	-46%
Edificaciones	48	25	-23	-48%
LULUCF	13	-15	-28	-215%
Agricultura	167	98	-69	-41%
Residuos	84	42	-42	-50%
Industria	261	175	-86	-33%
Petróleo y gas	209	111	-98	-47%
TOTAL	1311	726	-585	-45%

Fuente: EPS México 2018.

Costos de abatimiento

La curva de costos marginales de abatimiento (curva MAC) refleja el Valor Presente Neto (VPN) de las estrategias de política individuales (ver Figuras 6 y 7). Las curvas MAC comparan los VPN del costo de reducción marginal⁶ por tonelada adicional de emisiones de CO₂e (los cuales se muestran en dólares estadounidenses de 2012 en los ejes verticales) contra el potencial de reducción de cada política (que se muestra en MtCO₂e en los ejes horizontales). Las estrategias de política se ordenan conforme a su costo de abatimiento por tonelada. En otras palabras, las políticas que representan ahorros netos (que se muestran en negativo en los ejes verticales) son las primeras de izquierda a derecha. La magnitud de la reducción de emisiones lograda con cada política se ilustra mediante el ancho de la barra correspondiente.

Las curvas MAC para el escenario de la NDC condicionada para 2030 y 2050 se muestran en las Figuras 6 y 7, respectivamente. Las políticas que tienen un gran potencial de reducción y representan un ingreso neto incluyen la gestión de la demanda de transporte, los estándares de eficiencia de la industria y el subsidio para la producción de electricidad. Por otro lado, las políticas que representan un costo neto (que se muestra positivo en los ejes verticales) con un importante potencial de reducción incluyen la captura y destrucción de metano, el impuesto al carbono y la generación solar distribuida.

Para la NDC condicionada, nuestro análisis muestra que es posible alcanzar el 62 por ciento de la meta a 2030 con costos netos negativos a través de políticas que, aunque requieren de inversiones, a menudo tienen periodos de recuperación relativamente cortos, como los relacionados con mejoras a la eficiencia. Un 30 por ciento adicional de la mitigación condicionada total es posible a un costo inferior a \$40/tCO₂e (ver la Figura 6). En total, el 92 por ciento del objetivo de mitigación de la NDC condicionada podría alcanzarse por menos de \$40/tCO₂e.

La implementación de la propuesta del portafolio de políticas para la NDC condicionada requerirá una importante inversión de capital, hasta 100 mil millones de dólares (según el valor del dólar estadounidense en 2016) entre 2018 y 2030, lo que representa aproximadamente el 7 por ciento del PIB de México en 2017 (INEGI 2018), o aproximadamente el 0.8 por ciento anual si se extiende uniformemente a través del horizonte modelado. No obstante, el efecto neto tendrá un impacto positivo en la economía, con un valor actual neto estimado de \$105 mil millones de dólares para 2030. Los resultados de la modelación muestran que la mitigación del cambio climático, aunque requiere inversiones, tendría un impacto económico positivo a mediano plazo.

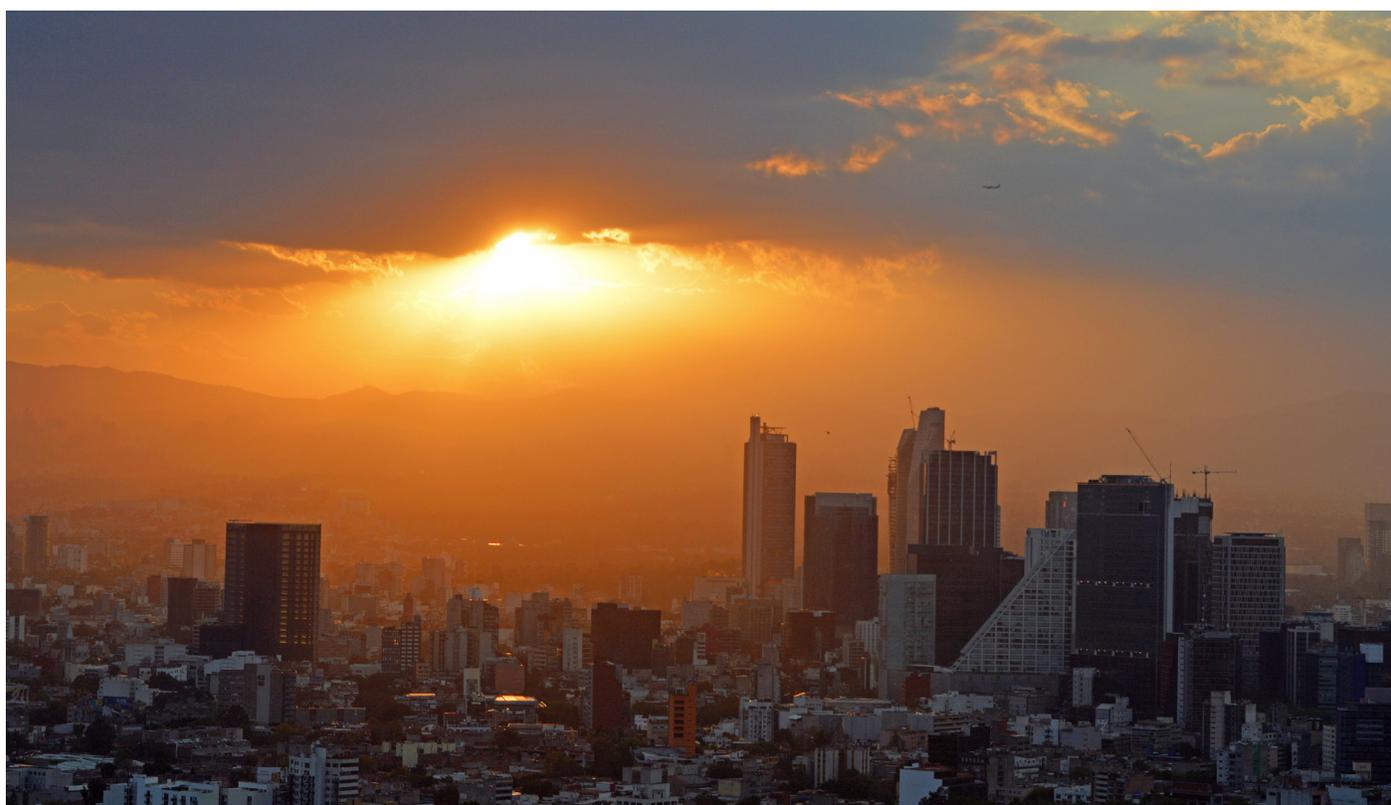
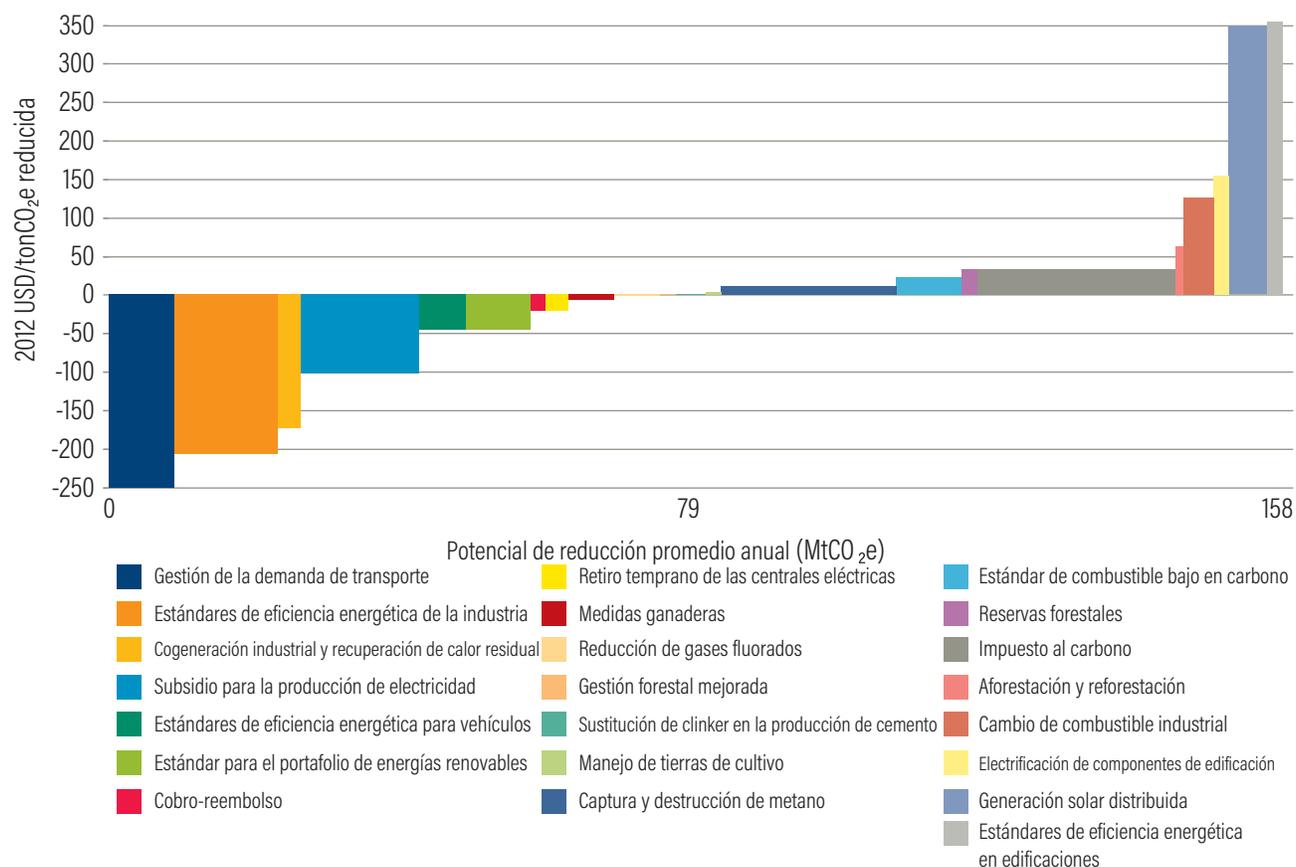
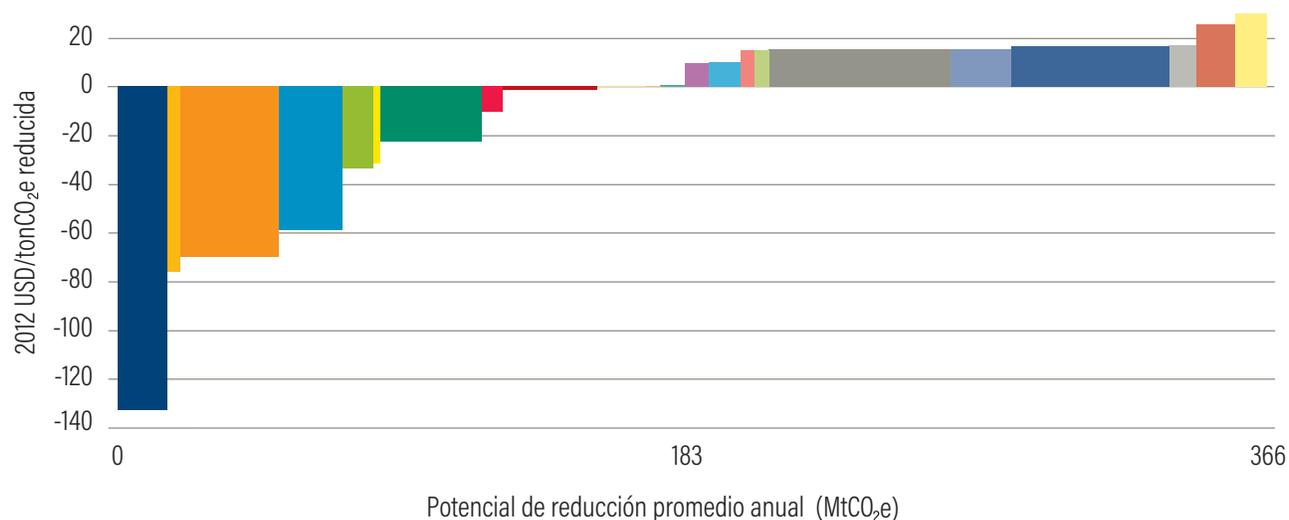


Figura 6 | Escenario de la NDC condicionada: curva de costos marginales de abatimiento a 2030 (VPN)



Fuente: EPS México 2018.

Figura 7 | Escenario de la NDC condicionada: curva de costos marginales de abatimiento a 2050 (VPN)



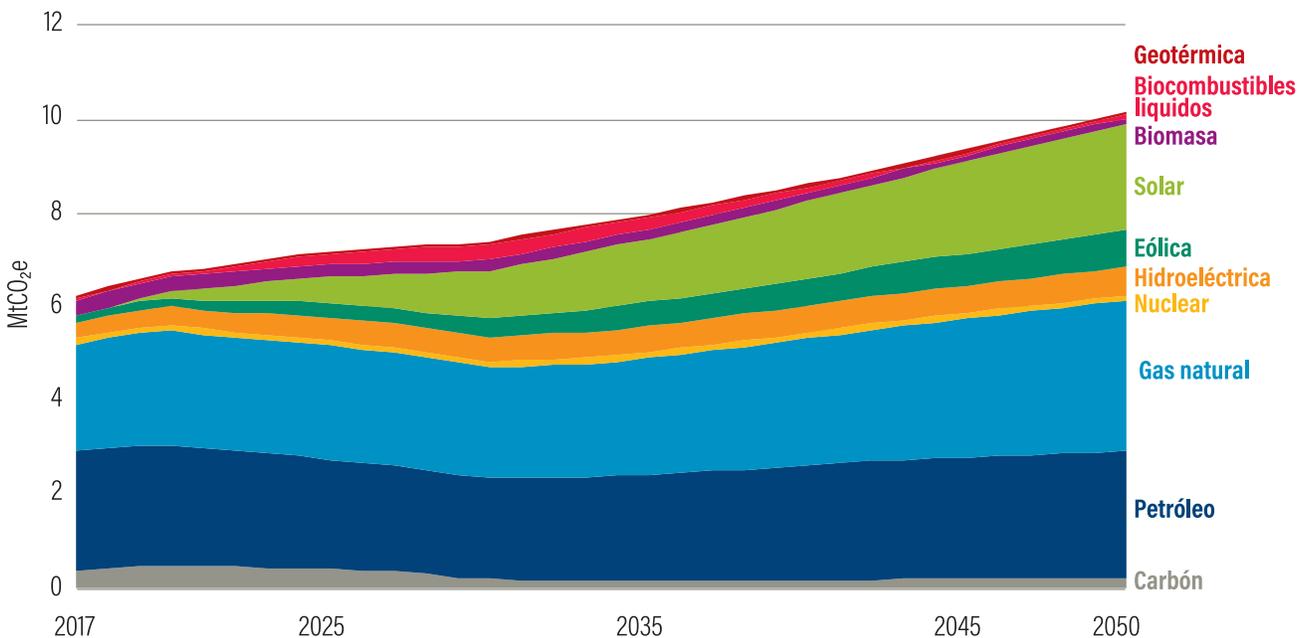
Fuente: EPS México 2018.

Uso de la energía

En comparación con el escenario de referencia, el escenario condicionado tiene una menor tasa de crecimiento en el consumo de energía primaria, pasando del 2.2 al 1.5 por ciento anual. Aun así, podemos observar un crecimiento continuo en el consumo de energía primaria hasta 2050, así como un cambio en la contribución relativa de cada fuente de energía (ver Figura 8). La evolución de la composición del consumo primario de energía se deriva de la implementación de políticas que faci-

tan una transición energética hacia las energías renovables. Podemos observar que la energía solar y eólica aumentan significativamente de 2017 a 2030. Otras fuentes limpias (geotérmica y nuclear) permanecen constantes a lo largo del período modelado. En cuanto al consumo de combustibles fósiles, por otro lado, podemos ver únicamente un ligero aumento en el gas natural, mientras que los combustibles derivados del petróleo permanecen constantes y el carbón disminuye.

Figura 8 | Escenario de la NDC condicionada: consumo de energía primaria por fuente

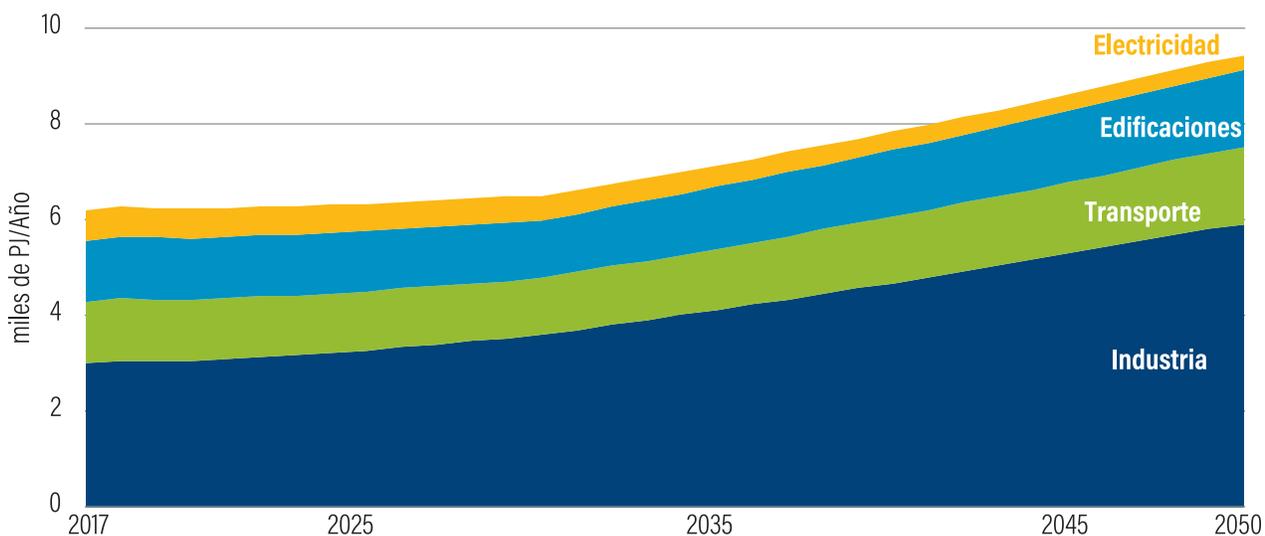


Fuente: EPS México 2018.

La Figura 9 muestra el consumo de energía primaria por sector para el escenario de la NDC condicionada. A lo largo del horizonte modelado hasta 2030, el sector industrial sigue siendo el mayor consumidor y el único que muestra un crecimiento (se debe tener en cuenta que el sector industrial incluye actividades de petróleo y gas).

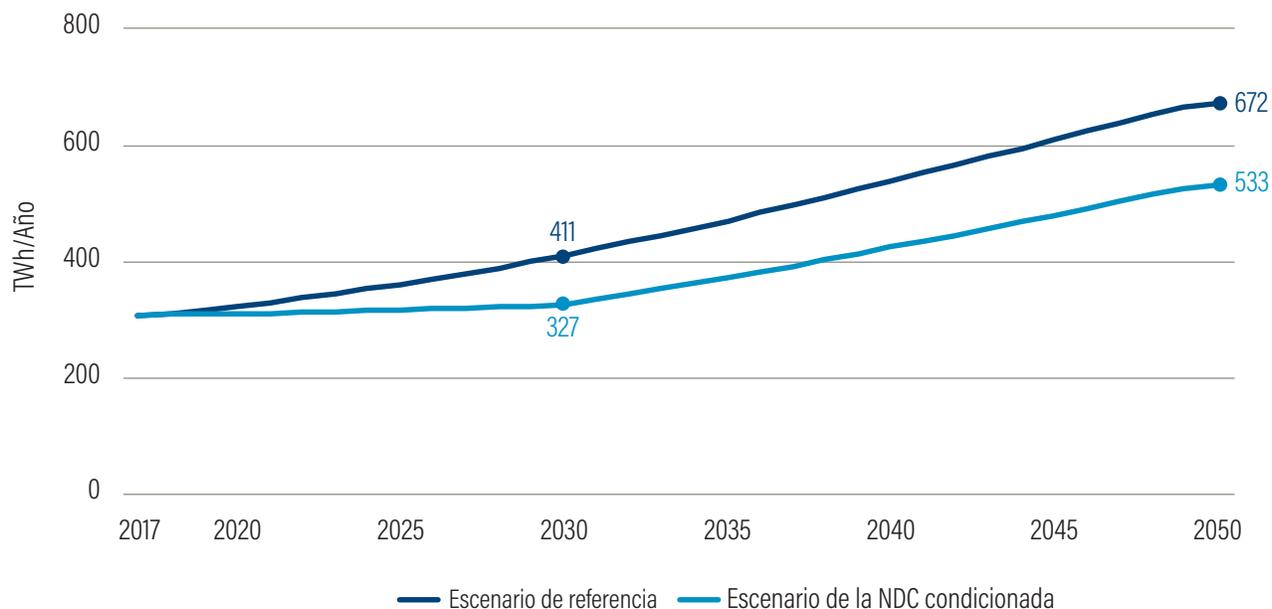
El escenario de la NDC condicionada da como resultado una reducción significativa en la generación de electricidad (ver Figura 10). Esto se explica principalmente por el efecto combinado de los estándares de eficiencia energética en todos los sectores y las mejoras de procesos en el sector industrial. Para 2030, la generación de electricidad disminuye en 82 TWh/año (aproximadamente el 20 por ciento).

Figura 9 | Escenario de la NDC condicionada: consumo de energía primaria por sector



Fuente: EPS México 2018.

Figura 10 | Generación de electricidad bajo los escenarios de la NDC condicionada y de referencia

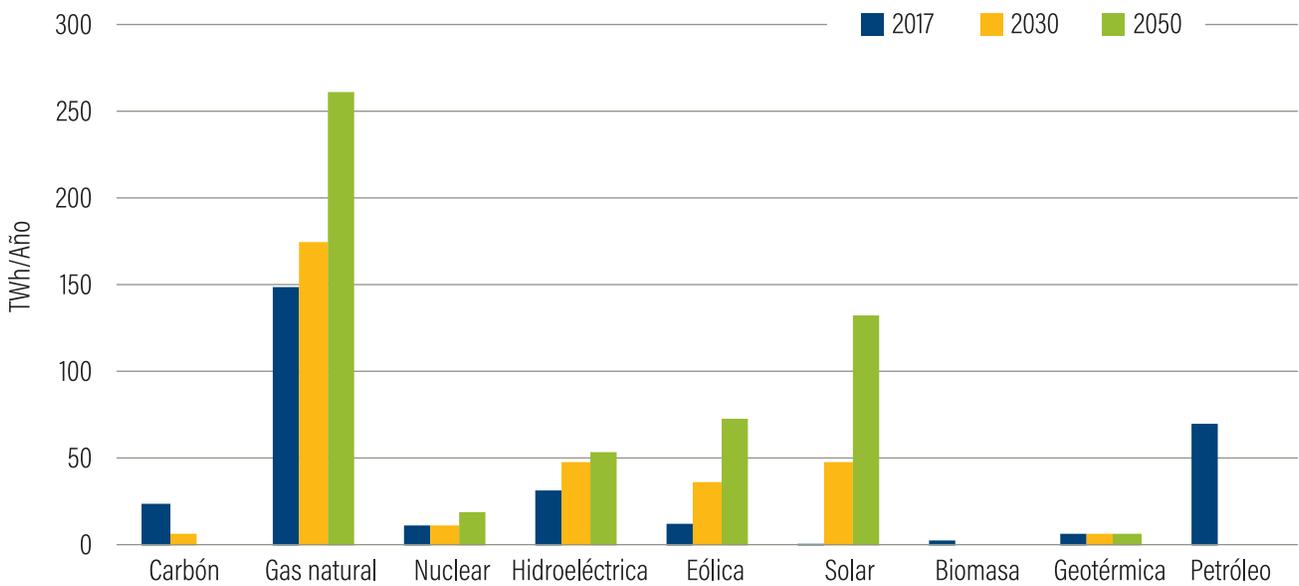


Fuente: EPS México 2018.

En términos de generación de electricidad, las estrategias de política incluidas en el escenario de la NDC condicionada funcionan efectivamente para aumentar la penetración de las energías renovables, de 18 por ciento en 2017 hasta alcanzar el objetivo del 35 por ciento en 2024 y lograr niveles más altos, de 42 por ciento para 2030 y 50 por ciento para 2050. Por lo tanto, la matriz de generación de electricidad cambiaría a gas natural, energía solar fotovoltaica y eólica, con aumentos

constantes o ligeros en la participación de la energía geotérmica, nuclear e hidroeléctrica; mientras que las tecnologías de generación con carbón, petróleo y biomasa se eliminarían para 2050 (ver Figura 11). En cuanto a la capacidad de generación renovable, la energía eólica y solar fotovoltaica representa aproximadamente el 6 por ciento de la capacidad total de generación para 2017, con un crecimiento de 50 por ciento para 2030 y 60 por ciento para 2050.

Figura 11 | Escenario de la NDC condicionada: generación de electricidad por tipo de tecnología



Nota La generación solar distribuida está incluida en la energía solar fotovoltaica.
Fuente: EPS México 2018.

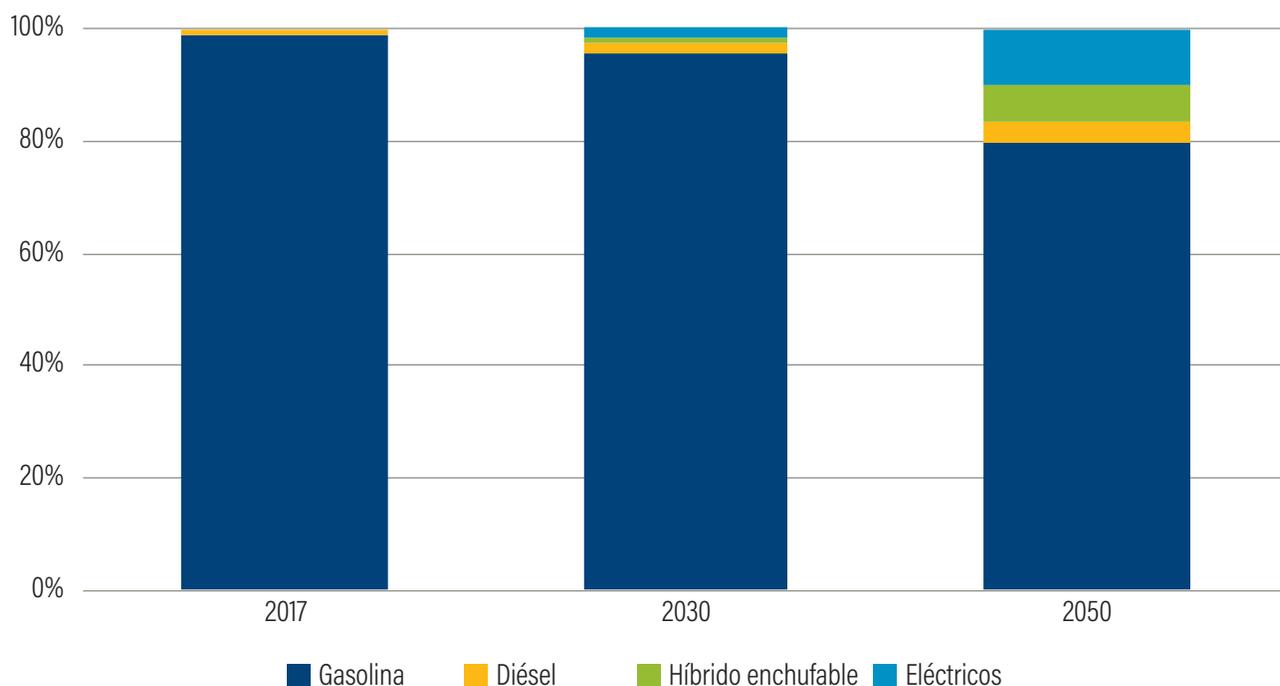


Electrificación del transporte

Las políticas relacionadas con la gestión de la demanda de transporte y el impuesto al carbono incluido en el escenario de la NDC condicionada contribuyen a la reducción de alrededor de 3 millones de vehículos ligeros para 2030, y de alrededor de 11 millones para 2050. La Figura 12 muestra la composición de la flota de vehículos ligeros por tecnología, incluyendo gasolina, diésel, híbridos

enchufables y eléctricos. La penetración de vehículos eléctricos alcanza el 10 por ciento de la flota de vehículos ligeros para 2050, mientras que la penetración de la tecnología híbrida enchufable alcanza el 7 por ciento en el mismo año; las tecnologías convencionales a combustibles fósiles reducen su participación en la flota del 99 por ciento en 2017 al 83 por ciento en 2050.

Figura 12 | Escenario de la NDC condicionada: composición de la flota de vehículos ligeros por tecnología



Fuente: EPS México 2018.



Uso del suelo

Las políticas de uso del suelo seleccionadas en el escenario de la NDC condicionada generan un impacto en 6.67 millones de hectáreas para 2030, lo que equivale aproximadamente al 10 por ciento del total de la cobertura forestal actual en México (Banco Mundial 2018). El EPS simula el impacto de tres políticas de uso del suelo: mejores prácticas de manejo forestal⁷; incremento de la cobertura forestal a través de los esfuerzos de aforestación y reforestación; y reservas adicionales de bosques⁸.

La aplicación de estas políticas contribuye a la reducción de 11 MtCO₂e para 2030 (ver Tabla 6), a través de:

- 1.3 millones de hectáreas de reservas forestales adicionales (2% de la superficie forestal actual).
- 0.9 millones de hectáreas de superficie aforestada/reforestada (1% de la superficie forestal actual).
- 4.5 millones de hectáreas de bosques con manejo forestal mejorado (7% de la superficie forestal actual de los bosques).

Tabla 6 | Escenario de la NDC condicionada: Política de reducción de emisiones por uso del suelo para 2030

POLÍTICA DE USO DEL SUELO	ÁREA IMPACTADA (MILLONES DE HECTÁREAS)	ABATIMIENTO (MTCO ₂ E)	PARTICIPACIÓN EN EL ABATIMIENTO DEL SECTOR USO DEL SUELO (%)
Reservas forestales	1.3	4.1	37%
Aforestación y reforestación	0.9	2.4	22%
Manejo forestal mejorado	4.5	4.5	41%

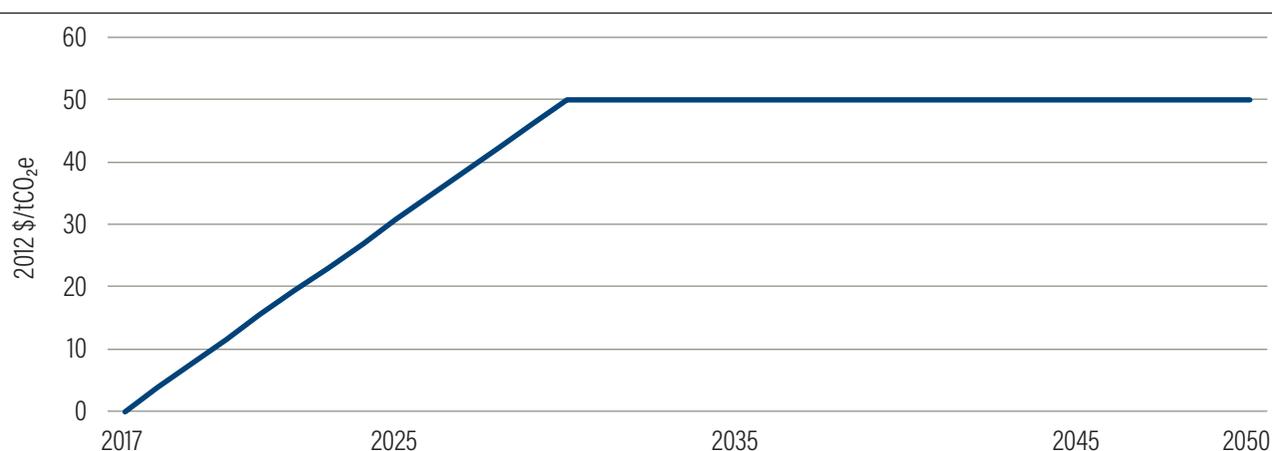
Fuente: EPS México 2018.

Impuesto al carbono

El escenario de la NDC condicionada simula la implementación gradual de un impuesto al carbono que se aplica a los sectores de petróleo y gas, generación de energía, transporte, industria, agricultura y gestión de residuos. El impuesto crece linealmente para llegar a \$50/tCO₂e en 2030 y se mantiene constante a partir de ese año (ver Figura 13). El impuesto contribuiría con una reducción de 48.6 MtCO₂e y ahorros netos de aproximadamente 35 dólares por tonelada reducida para 2030, debido a la mejora en la eficiencia energética y a los cambios de comportamiento que promueve. El escenario de la NDC condicionada se enfoca en las metas a 2030, por lo que se asume que no hay un crecimiento posterior ni se analizan los efectos de un impuesto para lograr las metas al 2050. En todo caso, es importante mencionar que el solo hecho de aumentar el impuesto al carbono para 2050 no sería suficiente para alcanzar las metas establecidas para ese año. Se requerirían políticas adicionales que no están cubiertas en el modelo. Tanto a mediano como a largo plazo, la implementación de este impuesto debe ser neutral en cuanto a la recaudación que genera, lo que significa que todos los ingresos tributarios deben destinarse a la innovación y la implementación de políticas y tecnologías de bajo carbono. La aplicación de un impuesto al carbono debe ser progresiva, disminuyendo la carga fiscal en los segmentos de bajos ingresos, por ejemplo, a través de descuentos o esquemas financieros para apoyar la implementación de políticas entre los hogares de bajos ingresos.

La Comisión de Alto Nivel sobre Precios al Carbono sugiere que se apliquen impuestos al carbono en un rango de \$40–80/tCO₂e para 2020 y de \$50–100/tCO₂e para 2030, como condición para el logro del objetivo de limitar el calentamiento global señalado en el Acuerdo de París (Banco Mundial 2017). El impuesto al carbono de \$50/tCO₂e analizado en este reporte como parte de las políticas dentro del escenario de la NDC condicionada de México está en línea con esos rangos. Incluso podría decirse que es conservador, ya que no es sino hasta 2027, cuando se llega a un impuesto de \$40/tCO₂e.

Figura 13 | Escenario de la NDC condicionada: impuesto al carbono aplicado a la electricidad, transporte y los equipos industriales



Fuente: EPS México 2018.

Cobeneficios

La implementación de políticas para lograr la NDC condicionada podría traer varios cobeneficios, entre ellos la mejora de la salud y muertes evitadas. Esto es debido a que las políticas implementadas podrían reducir las emisiones de contaminantes criterio que afectan la salud humana y el medio ambiente a nivel local y regional. Las emisiones de contaminantes criterio cuantificadas por el modelo EPS incluyen partículas ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), carbono orgánico (OC), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (VOC). El ozono troposférico (O_3), que es un contaminante secundario, no se considera en el modelo.⁹

Las emisiones de contaminantes criterio tienen un impacto en la salud humana a través del aumento de la mortalidad (muertes registradas) y la morbilidad (incidencia de enfermedades no mortales). Los efectos sobre la morbilidad de las emisiones individuales de contaminantes criterio son difíciles de cuantificar y valorar. Por lo tanto, nuestro análisis sólo considera los efectos sobre la mortalidad, los cuales se estiman por el EPS utilizando funciones

de dosis-respuesta. En México, la contaminación del aire por partículas ocupa el quinto lugar como riesgo a la salud asociado a muertes prematuras. En 2015, el número de muertes prematuras asociadas a enfermedades causadas por contaminantes criterio en México fue de casi 29,000 (INECC 2016c).

La implementación de algunas de las políticas del escenario de la NDC condicionada tiene un impacto directo en las emisiones de contaminantes criterio y sus niveles de concentración en la atmósfera. El material particulado, que es el contaminante más relacionado con la mortalidad, presenta el mayor potencial de reducción a través de la aprobación de las políticas de este escenario.

Al comparar las emisiones de partículas en el escenario de referencia y el escenario de la NDC condicionada, se observa que las emisiones de PM_{10} se reducirían en un 60 por ciento para 2030 y en un 50 por ciento para 2050. Las emisiones de $PM_{2.5}$ se reducirían aproximadamente en un 40 por ciento y en un 50 por ciento para los mismos años (ver Tabla 7).

Si se implementara el portafolio de políticas propuesto para el escenario de la NDC condicionada, para 2030 el número de vidas estadísticas salvadas por la reducción a la exposición de los contaminantes criterio sería de casi 26,000, y de alrededor de 38,000 para 2050 (ver Figura 14). Las políticas para reducir las emisiones de partículas y otros contaminantes criterio deberían ser fortalecidas independientemente de los objetivos climáticos, para contrarrestar las 29,000 muertes reportadas en 2015 relacionadas con la contaminación del aire.

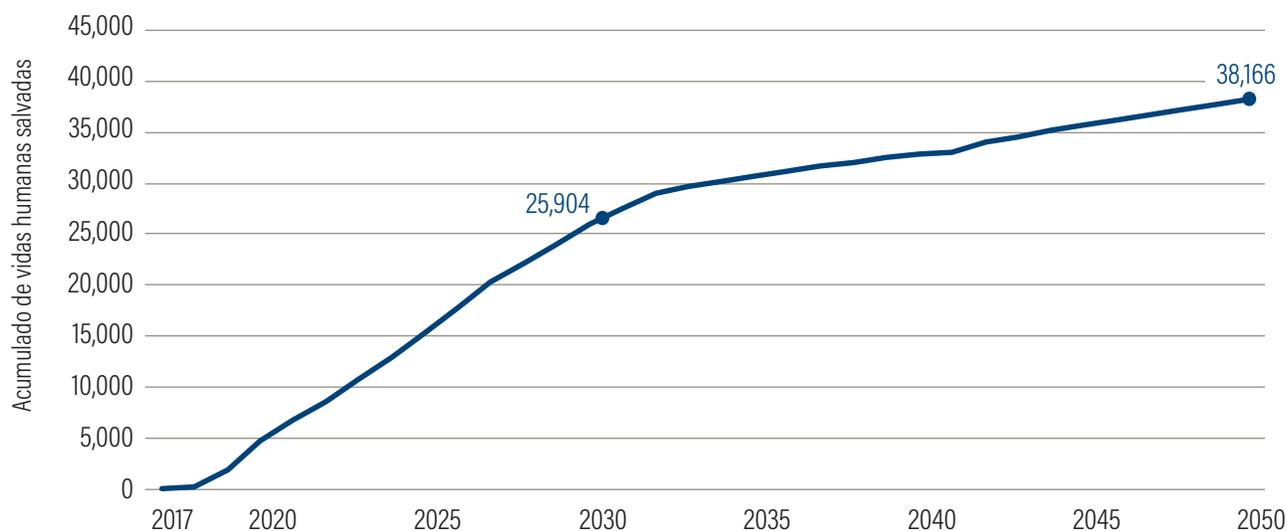
Los datos utilizados para calcular el impacto en la mortalidad se tomaron del Programa de gestión federal para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis, PROAIRE 2017-2030, desarrollado por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME 2017).

Tabla 7 | Escenario de la NDC condicionada: reducción de emisiones de contaminantes criterio en 2030 y 2050

CONTAMINANTES CRITERIO	2030	2050
PM_{2.5} (Material particulado inferior a 2.5 micrómetros de diámetro)	43%	50%
PM₁₀ (Material particulado inferior a 10 micrómetros de diámetro)	60%	60%
VOC (Compuestos orgánicos volátiles)	29%	39%
OC (Carbón orgánico)	29%	47%
NO_x (Óxidos de nitrógeno)	21%	11%
SO_x (Óxidos de azufre)	48%	38%
CO (Monóxido de carbono)	26%	31%

Fuente: EPS México 2018.

Figura 14 | Escenario de la NDC condicionada: disminución en mortalidad por reducción de contaminantes criterio



Fuente: EPS México 2018 (con datos de CAME 2017).



FACTORES GENERALES DE FACTIBILIDAD Y CONDICIONES HABILITADORAS

Reconocemos que, a pesar de su contribución potencial, las estrategias de política a menudo no son fáciles de implementar, debido a una diversidad de factores. Abordamos algunos que percibimos en general como los más relevantes, a pesar de que son específicos para cada caso. Se abordan temas como financiamiento, restricciones legales e institucionales, e incluso aspectos técnicos. Se requiere un análisis más completo si se pretende avanzar hacia la planificación e implementación de las estrategias.

Este reporte no incluye un análisis de factibilidad exhaustivo. Sin embargo, cabe señalar que hay varios factores que pueden dificultar la implementación de las políticas climáticas analizadas, independientemente de su costo-efectividad. En México, temas como la disponibilidad de recursos financieros, la coordinación interinstitucional, la falta de capacidad, los factores económicos y las barreras político-legales parecen ser prominentes (CICC2012; INECC2017; OECD 2013). Para cada política y tecnología específica, la factibilidad general varía y algunas de las barreras mencionadas son más relevantes que otras. En el caso de la penetración de energía renovable o el aumento en la eficiencia energética, por ejemplo, una de las principales barreras se relaciona con la existencia de subsidios a la energía, seguida de barreras legales y la falta de acceso a financiamiento (OCDE 2013). La implementación de impuestos a los combustibles o la fijación de precios al carbono, como otro ejemplo, probablemente sería más sensible a factores políticos.

En términos generales, existen algunas condiciones habilitadoras que ayudarían a que la implementación de acciones climáticas tenga éxito, particularmente al ritmo y nivel de ambición requeridos, como se mencionó anteriormente. A continuación se discuten las principales:

Financiamiento

En la sección sobre los costos de abatimiento identificamos que los costos de capital involucrados en la implementación del escenario de la NDC condicionada y necesarios para cumplir con las metas de la NDC de México ascienden a cerca de 100 mil millones (en dólares del año 2016) distribuidos entre 2018 y 2030. Esto pone en evidencia la relevancia de tener una evaluación sobre la escala y el ritmo de la inversión necesaria para transformar a México en una economía baja en carbono. Cumplir con los compromisos de la NDC puede resultar difícil debido a las grandes inversiones iniciales que se necesitan. En México, éste es un gran desafío porque las inversiones en infraestructura en el país no son tan grandes y dinámicas como se esperaría; por ejemplo, con el 1.6 por ciento de su PIB, la inversión en infraestructura tiene uno de los niveles más bajos para este tipo de inversión en América Latina, mientras que en países como Colombia y Perú las inversiones alcanzan niveles del 4.5 y del 4.7 por ciento, respectivamente (Serebrisky et al.

2015; Holmes et al. 2017).

Nuestra estimación respecto al financiamiento requerido para lograr la NDC de México difiere de los estudios existentes. El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) estima \$136 mil millones de dólares entre 2016 y 2030 (INECC 2018b). La Corporación Financiera Internacional (IFC) estima un total de \$791 mil millones de dólares (Holmes et al. 2017). Otros estudios estiman \$120 mil millones de dólares entre 2014 y 2031 (Wences 2017) y \$188 mil millones de dólares (Abramskiehn et al. 2017). Estas estimaciones dispares responden al hecho de que los estudios consideran diferentes acciones climáticas. La mayoría de los estudios se concentran principalmente en energía renovable, infraestructura y eficiencia energética en la industria, mientras que las necesidades en agricultura, silvicultura y adaptación rara vez se incluyen. Por lo tanto, es crucial encontrar fuentes de financiamiento para la implementación de tales acciones. Esto implicará proporcionar un plan detallado de dónde y cómo acceder a diversas fuentes de financiamiento, desde opciones de financiamiento público internacional (por ejemplo el Fondo Verde para el Clima [GCF, por sus siglas en inglés]) hasta presupuestos fiscales del sector privado y público. Entre otros requisitos, para que México tenga acceso a dichas fuentes de financiamiento, deberá mostrar un plan de acción con sus proyectos prioritarios, un compromiso institucional y tener un entorno favorable para la implementación de políticas y el involucramiento del sector privado frente a las barreras técnicas e institucionales existentes (CDKN 2016).

En la siguiente sección, proporcionamos un resumen de las principales fuentes de financiamiento disponibles para implementar las acciones de la NDC de México.

Principales fuentes de financiamiento para la implementación de la NDC¹⁰

Existen múltiples fuentes para financiar acciones relacionadas con la NDC. A menudo, éstas no son claramente reconocibles (por ejemplo, porque se mezclan con la ayuda para el desarrollo) y vienen en diferentes tamaños, desde el financiamiento transformacional para grandes acciones climáticas (a través del GCF) a pequeñas cantidades de inversión flexibles y catalíticas (por ejemplo, a través del Programa de Pequeñas Subvenciones del

Fondo Mundial para el Medio Ambiente [GEF, por sus siglas en inglés] (SIDA 2017). Las actividades financiables específicas deben adaptarse a las características particulares de cada país. Existen herramientas, como el Funding and Initiatives Navigator del NDC Partnership, que pueden ayudar a identificar las mejores opciones disponibles para un país (NDC Partnership 2018).

A nivel internacional, los principales fondos climáticos bajo el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) son el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), el Fondo Verde para el Clima (GCF) y Fondo de Adaptación:

- El GEF brinda apoyo a actividades de adaptación y mitigación, así como para el desarrollo de capacidades y la transferencia de tecnología. Contiene el Fondo para Países Menos Desarrollados (que financia actividades de adaptación solo en los países menos desarrollados y los entrega a través de una agencia implementadora [por ejemplo, PNUMA, PNUD]), el Fondo Especial para el Cambio Climático (abierto a todos los países no Anexo I de la CMNUCC, que hasta ahora ha apoyado principalmente proyectos de adaptación y transferencia de tecnología) y el Programa de pequeñas subvenciones del GEF (implementado por el PNUD y que brinda apoyo técnico y financiero a las comunidades y organizaciones de la sociedad civil para lograr beneficios ambientales globales a través de iniciativas y acciones ahí basadas). México recibió aproximadamente 8.5 dólares por cada dólar que contribuyó al GEF; por lo tanto, en el marco del GEF-6, la asignación de fondos ascendió a alrededor de \$88 millones de dólares. Para el GEF-7, se espera una cantidad similar, básicamente para apoyar las NDC y las acciones de protección de la biodiversidad (SEMARNAT 2017).
- El GCF es un fondo global que apoya las acciones de los países en desarrollo para enfrentar y adaptarse al cambio climático. Promueve cambios de paradigma hacia un desarrollo bajo en emisiones y resistente al clima, teniendo en cuenta las necesidades de las naciones que son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático. Bajo el GCF, México es parte de un programa regional que proporciona

\$22 millones para iniciativas de bonos verdes (SEMARNAT 2017).

- El Fondo de Adaptación financia proyectos y programas que ayudan a las comunidades vulnerables de los países en desarrollo a adaptarse al cambio climático. El financiamiento para las acciones se basa en las necesidades, visiones y prioridades de los países, y el acceso puede ser a través de la modalidad de acceso directo o a través de una agencia implementadora.

Además, existen los mecanismos tradicionales de la CMNUCC para movilizar fondos climáticos, tales como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL, establecido en virtud del Protocolo de Kyoto) y el Programa ONU-REDD (Programa de colaboración para la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques en los países en desarrollo, implementado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, por siglas en inglés), y el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés).

Los Bancos Multilaterales de Desarrollo (MDBs, por sus siglas en inglés) son otra opción. Los MDBs son tanto proveedores de financiamiento climático como agencias implementadoras de los fondos climáticos. El financiamiento climático se otorga en forma de subvenciones y préstamos concesionales y no concesionales. Los MDBs también brindan apoyo para ayudar a los países a desarrollar herramientas y capacidades para acceder al financiamiento climático:

- Los Fondos de Inversión Climática del Banco Mundial proporcionan recursos especializados para la adaptación y el desarrollo de resiliencia, la silvicultura, tecnología limpia y energía renovable. La Plataforma NDC tiene como objetivo identificar las necesidades, prioridades y falta de recursos para la implementación de las NDC en los países.
- La IFC proporciona inversiones directas en acciones climáticas relacionadas con la energía renovable y el desarrollo de nuevos mecanismos de agregación y reducción de riesgos financieros.

- El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) proporciona fondos a través del *NDC Invest*, que es una plataforma de apoyo integrada diseñada para ayudar a los países a acceder a los recursos necesarios para traducir sus compromisos climáticos nacionales en planes de inversión y proyectos financiables. El *NDC Invest* tiene cuatro pilares: los programas de NDC, el acelerador de fuentes de NDC, el propulsor del mercado de NDC y el movilizador financiero de NDC.

Además, México recibe fondos para la cooperación técnica que están destinados a contribuir a su Fondo Climático. Entre ellos, 1.5 millones de euros de la Agencia Francesa de Desarrollo, 1 millón de dólares del BID, 22 millones de euros del Banco Alemán de Desarrollo y 1 millón de dólares del Banco de Desarrollo de América Latina.

Los Bancos Nacionales de Desarrollo (NDBs por sus siglas en inglés) y otras instituciones nacionales de financiamiento para el desarrollo (DFIs) son otra opción. México ha demostrado liderazgo en el desarrollo de instrumentos y esquemas financieros a través de sus NDBs, así como a través de la innovación financiera baja en carbono. En México, hay siete NDBs, y cada uno de ellos está dirigido a segmentos específicos del mercado, desde pequeñas y medianas empresas (Banca de Desarrollo, Nacional Financiera [NAFIN]), infraestructura federal (Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos [BANOBRAS]), industria (Banco Nacional de Comercio Exterior [Bancomext]), agricultura y silvicultura (Fondo Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero [FND]) y Fondos Fiduciarios para el Desarrollo Rural [FIRA]), y vivienda (Sociedad Hipotecaria Federal [SHF]). NAFIN fue el primer banco público regional en emitir un bono verde (\$500 millones en 2015 para financiar nueve proyectos eólicos) y BANOBRAS emitió su primer bono sostenible en septiembre de 2017 (Abramskiesh et al. 2017).

Las DFI nacionales pueden brindar apoyo de diferentes maneras: inversiones directas (por ejemplo, las DFI invierten \$641 millones en México), la inclusión del clima en sus mandatos, considerando las acciones de la NDC en sus planes o carteras futuras, incorporando las acciones del clima en los planes de desarrollo y energía, y eliminando subsi-

dios perjudiciales (por ejemplo, a los combustibles fósiles) y redirigiéndolos a la implementación de la NDC, entre muchos otros (Weischer et al. 2016).

Algunos países han establecido sus propios fondos climáticos para combinar recursos y coordinar y alinear los intereses de los donantes con las prioridades nacionales. En México, el Fondo para el Cambio Climático se estableció en 2012 (DOF 2018) para recaudar y canalizar recursos financieros (públicos, privados, nacionales e internacionales) que apoyen las acciones de cambio climático. El fondo está liderado por SEMARNAT en coordinación con la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU); la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (anteriormente SAGARPA); la Secretaría de la Función Pública (SFP); la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); la Secretaría de Economía (SE); la Secretaría de Energía (SENER); la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP); la Secretaría de Gobernación (SEGOB); y la Secretaría del Bienestar (anteriormente SEDESOL) (PNUMA 2013; CEPAL 2016).

Los donantes bilaterales, por otra parte, están incorporando el cambio climático en sus programas de desarrollo; se estima que en 2013-2014, los miembros del Comité de Asistencia para el Desarrollo de la OECD proporcionaron asistencia bilateral para el desarrollo (relacionada con el clima) por un total de 25 mil millones de dólares por año, lo que constituye más de la mitad de las finanzas públicas para el clima. Entre las muchas fuentes de financiamiento bilateral que podemos mencionar están el Fondo Internacional para el Clima del Reino Unido, la Iniciativa alemana IKI (Iniciativa Internacional sobre el Clima), la Iniciativa Internacional sobre Clima y Bosques del Gobierno de Noruega, que apoya las actividades de REDD+ y la Alianza Global para el Cambio Climático de la Unión Europea.

Los fondos actualmente disponibles a través de las finanzas públicas pueden no ser suficientes para la transición a una economía baja en carbono, por lo que se necesitarán fondos para aprovechar la inversión de capital privado en proyectos de cambio climático. Existen suficientes oportunidades para los inversionistas privados (individuos, capital privado, incluidos los capitales de riesgo e inver-

sionistas institucionales más grandes, como los fondos de pensiones, las compañías de seguros o los fondos soberanos de inversión). Por ejemplo, se estima que para 2030 en México habrá un potencial de inversión de 75 mil millones de dólares en energía renovable, y de 3.4 mil millones en eficiencia energética para la industria, el transporte y las edificaciones (IFC 2016b).

El potencial del financiamiento privado podría aprovecharse plenamente mediante una estrecha cooperación pública y privada que incorpore los siguientes principios (Homes et al. 2017):

- “Dirigir el dinero público de manera eficiente para reducir el riesgo y aprovechar el capital privado, señalando la participación del gobierno y el compromiso con el mercado para promover su crecimiento.
- Crear y desplegar instrumentos financieros innovadores, tales como los mecanismos de fondos en común.
- Gestionar la participación temprana en proyectos para proporcionar una gama completa de opciones de financiamiento estructurado. Complementar la actividad de préstamos proporcionando servicios de asistencia técnica, para facilitar préstamos a menor escala y reducir los costos de transacción”.

Finalmente, la filantropía también puede ser un catalizador para el financiamiento climático, al ayudar a sortear los obstáculos que enfrentan los actores públicos e internacionales, como competir contra otras prioridades políticas o lidiar con procesos muy lentos. Por ejemplo, el Fondo Zero Gap de la Fundación Rockefeller cataliza las inversiones en adaptación y resiliencia; la fundación también financia el Laboratorio Global de Innovación para el Financiamiento Climático, una iniciativa del sector público-privado que identifica, desarrolla y lanza instrumentos financieros innovadores para desbloquear la inversión privada. En 2016, el laboratorio recaudó más de \$500 millones de dólares para instrumentos piloto. Hay otros actores, como la Fundación del Fondo de Inversión para los Niños, la Fundación Ford, la Fundación Oak y la Fundación Climate Works.

Marco institucional y legal

Como se indicó anteriormente en este reporte, el marco institucional y legal que respalda la formulación de políticas climáticas y su implementación en México está relativamente bien desarrollado, particularmente desde la promulgación de la LGCC en 2012. La capacidad ha aumentado y la coordinación ha mejorado en sectores relevantes y niveles subnacionales, dado el mandato de la ley para establecer una serie de arreglos institucionales y organismos de coordinación del cambio climático para desarrollar una variedad de instrumentos de planificación sectorial y subnacional (DOF 2018). Sin embargo, las capacidades todavía varían entre los sectores y niveles de gobierno. En particular, las capacidades a nivel local son generalmente limitadas, lo que es preocupante ya que parte del esfuerzo para cumplir con los objetivos climáticos se encuentra dentro de las atribuciones municipales.

Las estrategias específicas junto con los portafolios de políticas evaluados en nuestro análisis requerirían cambios particulares en el marco legal e institucional para mejorar sus posibilidades de implementación. Más adelante, al desarrollar planes de negocios o planes de implementación, estos factores deben tenerse en cuenta y resolverse.

Requerimientos de Cooperación Técnica e Innovación

México tiene varios acuerdos de cooperación internacional vigentes y una buena historia de colaboración con muchos países. Dichos acuerdos tienen una trayectoria comprobada de proveer apoyo a la agenda climática. La implementación efectiva de algunas de las políticas propuestas en el escenario de la NDC condicionada contenido en el EPS se verá enormemente beneficiada de una mayor cooperación técnica, que puede ayudar a crear capacidad, movilizar recursos y ampliar y replicar esfuerzos.

Algunas de las estrategias de política propuestas en el escenario de la NDC condicionada del EPS también requerirán más investigación y avances tecnológicos, entre ellos, por ejemplo, la implementación de sistemas de respuesta a la demanda de energía eléctrica, la reducción de las pérdidas de transmisión de la red eléctrica y un aumento en el almacenamiento de electricidad, lo que permitiría una mayor penetración de las energías renovables.



CONCLUSIONES

Es posible que México logre sus objetivos climáticos a mediano plazo con una combinación de estrategias de política que sea técnica y económicamente factible, aún cuando requiera inversiones sustanciales. Además de la mitigación de GEI, su implementación traería beneficios económicos y sociales. Entre todos los sectores de la economía, la mayor mitigación se lograría mediante intervenciones en electricidad, transporte e industria. A largo plazo, será necesaria una mayor ambición para alcanzar las metas actuales.

Los resultados de nuestro análisis muestran que a través de la implementación cuidadosa de un portafolio de políticas técnicamente factible y de bajo costo, México puede lograr una reducción de emisiones de GEI alineada con los objetivos de su NDC condicionada. El portafolio de políticas seleccionado está compuesto por 21 estrategias de política que caen en todos los sectores de la economía. Estas estrategias se identificaron a través de pruebas del modelación y retroalimentación de expertos. El impacto económico de su implementación es positivo en el mediano plazo, debido a la reducción de costos por el ahorro de combustible y la eficiencia de los procesos, sin embargo, requiere una inversión de capital total cercana a los 100 mil millones de dólares de aquí al 2030.

Este reporte muestra que México puede lograr sus objetivos de reducción de GEI condicionados y no condicionados y, a la vez, ahorrar dinero a través de operaciones eficientes y obteniendo cobeneficios en salud pública. Sin embargo, existe la necesidad de lograr una mejor y más efectiva acción climática en todos los sectores de la economía, financiar inversiones públicas y privadas significativas utilizando fuentes de capital nacionales e internacionales, realizar un esfuerzo para superar las barreras a la implementación y dedicar recursos sustanciales para el desarrollo de capacidades e innovación.

Como se mencionó en la introducción y se confirmó durante el análisis, el logro de la meta de la NDC de México no nos pondrá en un camino directo hacia el logro de la meta de reducción de GEI de largo plazo (2050). Existe la necesidad de aumentar la ambición para cerrar esta brecha, así como de más estudios para identificar las estrategias clave para la reducción de GEI a largo plazo que permita desacoplar el crecimiento económico de las emisiones de GEI, realizar los incrementos necesarios en los precios del

carbono y del desarrollo de las áreas necesarias en innovación y desarrollo tecnológico.

Principales hallazgos

Este reporte identifica una combinación de 21 estrategias de política, con las cuales sería posible lograr la NDC condicionada de México a un bajo costo. Con la implementación de las estrategias de política propuestas para el escenario de la NDC condicionada, las emisiones de GEI disminuyen de 902 MtCO₂e en el caso de referencia a 623 MtCO₂e para 2030, una reducción de 279 MtCO₂e (31%). En comparación, en la línea base reportada en la NDC de México (972 MtCO₂e), la reducción alcanza 349 MtCO₂e (36 por ciento).

En general, tres sectores (electricidad, transporte e industria) contribuyen con casi dos tercios (178 MtCO₂e) de esta reducción. Los sectores que presentan la mayor disminución relativa de emisiones en el escenario de la NDC condicionada para 2030 son LULUCF con 63 por ciento, manejo de residuos con 52 por ciento y electricidad con 50 por ciento.

La implementación del portafolio de políticas para la NDC condicionada de México requerirá una importante inversión de capital, de hasta 100 mil millones de dólares (de 2012) entre 2018 y 2030, lo que representa menos del 1 por ciento del PIB anual si se distribuye de manera uniforme en todo el horizonte modelado. Sin embargo, el efecto neto de esta inversión generará un impacto positivo en la economía, con un estimado de \$105 mil millones en valor presente neto para 2030. También podría traer varios cobeneficios, entre ellos, mejoras a la salud y muertes evitadas. Esto se debe a que las políticas implementadas podrían reducir potencialmente las emisiones de contaminantes criterio, que afectan a la salud humana y al medio ambiente a nivel local y regional. Si se implementara el portafolio de políticas propuesto para el escenario de la NDC condicionada, para 2030 el número de vidas estadísticas salvadas acumuladas debido a la reducción de la exposición a

los contaminantes criterio sería de casi 26,000, y de cerca de 38,000 para 2050.

El escenario de la NDC condicionada simula un impuesto al carbono que crece linealmente para llegar a \$50/tCO₂e en 2030 y permanece constante posteriormente. El impuesto se aplica a los sectores de petróleo y gas, generación de energía, transporte, industria, agricultura y gestión de residuos. Contribuiría a una reducción de 19 MtCO₂e y ahorros netos de aproximadamente 35 dólares por tonelada reducida para 2030, debido a la mejora en la eficiencia energética y los cambios de comportamiento que promueve. La implementación de este impuesto debe ser neutral en cuanto a recaudación. El monto del impuesto analizado se encuentra dentro de los rangos que se consideran necesarios para ser consistente con el logro del objetivo de calentamiento global del Acuerdo de París.

Hay varios factores que pueden obstaculizar la implementación de las políticas climáticas analizadas, independientemente de su rentabilidad. En México, temas como la disponibilidad de recursos financieros, la coordinación interinstitucional, la falta de capacidad, los factores económicos y las barreras político-legales parecen ser prominentes. Para cada política y tecnología específica, la factibilidad de implementación varía y algunas de las barreras mencionadas son más relevantes que otras.

Actualmente, México no está en la ruta adecuada para alcanzar la meta de su Estrategia a Largo Plazo (LTS) de 50 por ciento de reducción de emisiones en términos absolutos con respecto al año 2000. Para lograr las metas establecidas por México, se deben hacer esfuerzos para diseñar e implementar acciones climáticas efectivas y fortalecidas en todos los sectores de la economía, financiar importantes inversiones públicas y privadas, utilizando fuentes de capital tanto nacionales como internacionales, realizar un esfuerzo para abordar las barreras a la

implementación y dedicar recursos sustanciales al desarrollo de capacidades y a la innovación.

Siguientes pasos propuestos

El propósito de este reporte es describir a grandes rasgos el tipo y la magnitud de las intervenciones que pueden ayudar a dirigir a México hacia el cumplimiento de sus objetivos de reducción de GEI. Sin duda, será necesario un análisis más detallado para informar sobre cómo asegurar la implementación específica de acciones (incluidas las consideraciones relacionadas con competitividad e impactos distributivos), así como para remover las barreras existentes.

Junto con la 6ta Comunicación de México hacia la CMNUCC, presentada en la COP 24 en Katowice, se publicó un nuevo Inventario Nacional de Emisiones de GEI. El modelo EPS considera los mismos datos que el inventario actual de emisiones de GEI. Los datos de la línea base no han sido revisados desde la presentación de la NDC en la COP 21 en París. Si se publicara una línea base actualizada, se debe desarrollar una nueva comparación para identificar cualquier cambio significativo en las trayectorias de emisiones específicas por sector.





APÉNDICE A: HERRAMIENTA WEB DEL EPS Y DOCUMENTACIÓN ONLINE

El desarrollo del modelo EPS incluyó una aplicación web con una arquitectura técnica de alto nivel que facilita y simplifica el uso y la revisión del modelo. La interfase web muestra los resultados más significativos del modelo en gráficos fáciles de leer y descargables, que incluyen emisiones, diagramas de políticas de reducción, curvas de costos marginales de abatimiento para las políticas seleccionadas, finanzas, beneficios sociales y resultados específicos para cada uno de los sectores y cada uno de los escenarios incluidos. La interfase también incluye descripciones breves de cada política, amplia documentación sobre cálculos de modelación y arquitectura, y aclaraciones sobre cómo diseñar correctamente cada política.

Se puede acceder a la aplicación web en <https://mexico.energypolicy.solutions/>

Al crear una cuenta, el modelo permite a los usuarios revisar escenarios preestablecidos y construir escenarios personalizados que permiten el estudio de resultados de política específicos, modificando su nivel de implementación e incluso permitiendo un calendario de implementación personalizado.

Se puede encontrar una amplia documentación en línea sobre el uso de la aplicación web en <https://us.energypolicy.solutions/docs/online-model-tutorial.html>

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

BANCOMEXT	Banco Nacional de Comercio Exterior
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BAU	Business As Usual o Escenario tendencial
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAMe	Comisión Ambiental de la Megalópolis
CAT	Climate Action Tracker (Rastreador de Acción Climática)
CCAC	Coalición Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes de Vida Corta
CCS	Captura y secuestro de carbono
CDKN	Red de Conocimiento sobre Clima y Desarrollo
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CMM	Centro Mario Molina
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNH	Comisión Nacional de Hidrocarburos
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
COP	Conferencia de las Partes

CO₂	Dióxido de carbono
CO₂e	Dióxido de carbono equivalente
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DFI	Instituciones Financieras de Desarrollo
DR	Respuesta de la demanda
EI	Energy Innovation LLC
EPA	Agencia de Protección Ambiental (EUA)
EPS	Energy Policy Simulator
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FND	Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal, y Pesquero
GCF	Fondo Verde para el Clima
GEF	Fondo Global para el Medio Ambiente
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GMI	Iniciativa Global de Metano
HDV	Vehículo pesado
I+D	Investigación y Desarrollo
ICM	Iniciativa Climática de México
IFC	International Finance Corporation (Corporación Financiera Internacional)
IMCO	Instituto Mexicano para la Competitividad
iNDC	Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEGyCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
LDV	Vehículo ligero
LPG	Gas licuado de petróleo
LTS	Estrategia a largo plazo
LULUCF	Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura
MAC	Curva de costo marginal de abatimiento
MDB	Banco Multilateral de Desarrollo
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
NAFIN	Nacional Financiera
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional

NO_x	Óxidos de Nitrógeno
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PIB	Producto Interno Bruto
PM_{2.5}	Material particulado inferior a 2.5 micrómetros de diámetro
PM₁₀	Material particulado inferior a 10 micrómetros de diámetro
POLES	Prospectivas sobre sistemas de energía a largo plazo
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
PV	Energía solar fotovoltaica
REDD	Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal
REDD+	Conservación, gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social (ahora Secretaría de Bienestar)
SE	Secretaría de Economía
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SENER	Secretaría de Energía
SFP	Secretaría de la Función Pública
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SHF	Sociedad Hipotecaria Federal
SO_x	Óxidos de azufre
TDM	Gestión de la Demanda de Transporte
UNDP	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
VPN	Valor Presente Neto

NOTAS FINALES

1. Los remanentes de LULUCF (absorciones) corresponden a las líneas del inventario de GEI 3B1a, 3B2a, 3B3a, 3B4a, 3B5a y 3B6a. Cuantifican el sumidero de carbono del suelo no convertido.
2. Las emisiones de carbono negro no están convertidas en CO₂e y sólo se analizan para determinar sus cobeneficios. El modelo no contiene el nivel de detalle sobre su potencial de reducción para estimar los efectos del calentamiento del carbono negro.
3. El costo total de la implementación se informó en dólares estadounidenses de 2016, para facilitar la comparación con otros estudios.
4. De la cual la última versión se presentó con la NDC de México y la Estrategia de Largo Plazo (INECC 2016a).
5. Los escenarios consideran solo los objetivos de reducción de emisiones de GEI y excluyen los objetivos de reducción de carbono negro.
6. El costo marginal de abatimiento representa el valor presente neto del costo incremental neto (CAPEX+OPEX) de aplicar cada política en comparación con el caso de referencia; considera los costos de implementación de la política y los beneficios en los costos operativos de una mayor eficiencia o valor.
7. El manejo forestal mejorado incluye técnicas de raleo mejorado, períodos de rotación más largos y otros cambios en la extracción de madera. Estas prácticas se promueven mediante el uso de programas de certificación (por ejemplo, el del Consejo de Administración Forestal).
8. Las Áreas Naturales Protegidas y otros esquemas de conservación de suelos tales como Unidades de Gestión Ambiental.
9. El ozono troposférico es un producto de reacciones fotoquímicas en la atmósfera; las emisiones directas son poco significativas.
10. De lo contrario, esta subsección se basa en SIDA (2017), que proporciona una excelente visión general de los diferentes tipos de fuentes de financiamiento disponibles, así como las

herramientas y recursos disponibles para identificarlos.

REFERENCIAS

- Abramskiehn, D., K. Hallmeyer, C. Trabacchi, D. Escalante, M. Netto, M. Cabrera, and A. Vasa. 2017. *Supporting National Development Banks to Drive Investment in the Nationally Determined Contributions of Brazil, Mexico, and Chile*. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Altamirano, J., E. Ortiz Sánchez, J. Rissman, K. Ross, T. Fransen, C. Brown Solá, and J. Martínez. 2016. "Achieving Mexico's Climate Goals: An Eight-Point Action Plan." Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.
- CAMe (Comisión Ambiental de la Megalópolis). 2017. *Programa de gestión federal para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis: Proaire de la Megalópolis 2017-2030*. https://framework-gb.cdn.gob.mx/data/institutos/semarnat/Programa_de_Gesti%C3%B3n_Federal_2017-2030_final.pdf.
- CAT (Climate Action Tracker). 2015. "Paris Agreement: Near-Term Actions Do Not Match Long-Term Purpose—but Stage Is Set to Ramp Up Climate Action." https://climateactiontracker.org/documents/45/CAT_2015-12-12_COP21Statement_CATStatement.pdf.
- CAT 2018. "Climate Action Tracker Mexico." <https://climateactiontracker.org/countries/mexico/pledges-and-targets/>.
- CDKN (Climate and Development Knowledge Network). 2016. *Planning for NDC Implementation: Quick Start Guide and Reference Manual*. London: CDKN/Ricardo Energy and Environment.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2016. *Fondo para el Cambio Climático*. https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/fondo_para_el_cambio_climatico_2016_mexico.pdf.
- CiCC (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático). 2012. *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Mexico City: CiCC.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2009. "Inventario Nacional y de Suelos: Sistema Nacional de Información Forestal." <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/infys>. Accessed May 18, 2018.
- Danish Energy Agency. 2015. *Baseline and INDC Scenarios of the Mexican Energy System*. Report. Copenhagen: Danish Energy Agency.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2018. *Ley General de Cambio Climático 13-07-2018*. Mexico City: DOF.
- EI (Energy Innovation LLC). 2015. "Energy Policy Simulator Documentation." <https://us.energypolicy.solutions/docs/index.html>.
- EPS Mexico (Energy Policy Simulator Mexico). 2018. "Policy Solutions: Mexico." <https://mexico.energypolicy.solutions/>.
- Gobierno de la República. 2015. *Intended Nationally Determined Contribution Mexico*. <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Mexico/1/MEXICO%20INDC%2003.30.2015.pdf>.
- Holmes, I., D. Orozco, and A. Paniagua. 2017. *Accelerating Green Infrastructure Financing in Mexico Towards Sustainable Economic Growth*. London: Third Generation Environmentalism.
- ICM (Iniciativa Climática de México), IMCO (Instituto Mexicano para la Competitividad), and WRI (World Resources Institute). 2018. *Diez Propuestas para una agenda climática con visión de Estado 2018-2024*. Mexico City: ICM, IMCO, and WRI.
- IEA (International Energy Agency) and OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2009. *Transport Energy and CO₂: Moving towards Sustainability*. <http://www.oecd.org/publications/transport-energy-and-co2-moving-towards-sustainability-9789264073173-en.htm>.
- IFC (International Finance Corporation). 2016b. *Climate-Smart Investment Potential in Latin America: A Trillion Dollar Opportunity*. Washington, DC: IFC.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2016a. "Mexico's Climate Change Mid-century Strategy." <https://www.gob.mx/inecc/documentos/mexico-s-climate-change-mid-century-strategy>.
- INECC. 2016b. *Guía del Usuario de MOVES México*. <http://www.plataformaeds.org/images/images/0326944001471877932.pdf>.
- INECC. 2016c. *Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/208105/INECC_CAME_Final_14022017.pdf.
- INECC. 2017. *Evaluación Estratégica del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/261388/Informe__evaluacion_PECC_final_limpio_1_.pdf.
- INECC. 2018a. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2015*. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y>

compuestos-de-efecto-invernadero.

INECC. 2018b. *Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas Sectoriales No Condicionadas*. Informe final. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330857/Costos_de_las_contribuciones_nacionalmente_determinadas_de_Mexico__dobles_p_ginas_.pdf.

INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). 2018. "Banco de información económica 2018." <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/BIE/Default.aspx?Topic=0&idserPadre=1000025501150120#D1000025501150120>.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2018. "Global Warming of 1.5 °C." <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>.

NaturAMLO. 2018. *NaturAMLO-México está en la Tierra. Propuesta Ambiental de Andrés Manuel López Obrador. Abre Más los Ojos*. <https://drive.google.com/file/d/1wtqDgsYrhY6wXVo3nRz4ou7qK1UPE0j/view>.

NDC Partnership. 2018. "NDC Funding and Initiatives Navigator. Nationally Determined Contribution (NDC)." <https://ndcpartnership.org/initiatives-navigator#open-funds-and-initiatives>.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2013. *OECD Environmental Performance Reviews: Mexico 2013*. Paris: OECD.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2014. *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018. Diario Oficial de la Federación*, April 28 Mexico City: SEMARNAT.

SEMARNAT. 2017. *Financiamiento climático: Plan para implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC)*. <http://dev.another.co/giz/download/1%20Financiamiento%20Clima%CC%81tico%20NDC%20-%20SEMARNAT.pdf>.

SENER (Secretaría de Energía). 2018. "Prospectivas del Sector Energético." <https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>.

Serebrisky, T., A. Suárez-Alemán, D. Margot, and M. Ramírez. 2015. *Financing Infrastructure in Latin America and the Caribbean: How, How Much and by Whom?* Washington DC: Inter-American Development Bank.

SIDA (Swedish International Development Cooperation Agency). 2017. *Supporting Access to Finance for Climate Action*. Stockholm: SIDA.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2013. *Fondo para el*

Cambio Climático de México. https://www.tm.org.mx/wp-content/uploads/2013/06/jifcmx_Dolores_Barrientos.pdf.

UNEP. 2017. *The Emissions Gap Report 2017*. Nairobi: UNEP.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2015. *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.

Weischer, L., L. Warland, D. Eckstein, S. Hoch, S. Wehner, A. Michaelowa, and M. Koehler. 2016. *Investing in Ambition Analysis of the Financial Aspects in (Intended) Nationally Determined Contributions*. Berlin: Germanwatch—Perspectives Climate Group.

Wences, R. 2017. *NDC Implementation in Mexico: Identification and Costing of Feasible Mitigation Measures*. Mexico City: Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

World Bank. 2017. *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. Washington, DC. <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices/>.

World Bank. 2018. "World Development Indicators. Food and Agriculture Organization (FAO): Forest Area (% of Land Area)." Last updated: 08/28/18. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS?end=2015&locations=MX&start=1990&view=chart>.

ACERCA DE WRI

El World Resources Institute es una organización técnica global que convierte las grandes ideas en acciones: Establecemos vínculos entre la conservación del medio ambiente, las oportunidades económicas y el bienestar humano.

Nuestro Reto

Los recursos naturales son la base de las oportunidades económicas y del bienestar humano. Hoy en día, sin embargo, estamos agotando los recursos de la Tierra a tasas insostenibles, poniendo en peligro las economías y la vida de las personas. El bienestar de la gente depende de tener agua limpia, tierras fértiles, bosques sanos y un clima estable. Las ciudades habitables y la energía limpia son esenciales para un planeta sostenible. Debemos enfrentar estos desafíos urgentes y globales de esta década.

Nuestra visión

Preveamos un planeta equitativo y próspero impulsado por la sabia gestión de los recursos naturales. Aspiramos a crear un mundo donde las acciones del gobierno, las empresas y las comunidades se combinen para eliminar la pobreza y sostener el medio ambiente natural para todas las personas.

Nuestro enfoque

Medir mediante datos. Nuestro riguroso análisis identifica riesgos, oportunidades, información y estrategias.

Transformar la realidad. Buscamos influir en las políticas públicas, el sector empresarial, y la acción de la sociedad civil. Detonamos proyectos y políticas con comunidades, empresas y agencias gubernamentales para construir una sólida evidencia.

Escalar las experiencias y lecciones aprendidas para fortalecer el desarrollo de capacidades y llevarlas a más ciudades.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

Foto de la portada Ibz Omar; tabla de contenidos Carlos ZGZ; prólogo, p. 6, 14, 28 Fernando Olea @fotografianomada; pag. 2 Bud Ellison; pag. 5, 42 Ben Welle; pag. 10 Lucy Nieto; pag. 11, 41 Diseño para la Salud; pag. 22 Paul Sableman; pag. 24-25 (izquierda) orientalización; (centro) David Cabrera; (derecha) Matt Kieffer; pag. 27 Iván Muñoz / Oxfam; pag. 37 pontla; pag. 46 Justin Vidamo; pag. 52 WRI Ross Center for Sustainable Cities; pag. 56, 57 Gobierno CDMX

Cada informe del World Resources Institute representa un tratamiento oportuno y académico de un tema de interés público. WRI asume la responsabilidad de elegir los temas de estudio y garantizar a sus autores e investigadores la libertad de consulta. También solicita y responde a la guía de paneles asesores y revisores expertos. Sin embargo, a menos que se indique lo contrario, todas las interpretaciones y conclusiones establecidas en las publicaciones de WRI son responsabilidad de los autores.

Los mapas tienen fines ilustrativos y no implican la expresión de ninguna opinión por parte de WRI, en relación con el estado legal de cualquier país o territorio o con respecto a la delimitación de fronteras o límites.



Copyright 2019 World Resources Institute. Este trabajo está licenciado bajo la licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0. Para ver una copia de la licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. El material en esta obra está sujeto a derechos de autor.



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE

10 G STREET NE
SUITE 800
WASHINGTON, DC 20002, USA
+1 (202) 729-7600
WWW.WRI.ORG

ISBN 978-1-56973-958-7