



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



REPORTE ANUAL DEL POTENCIAL DE MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR ELÉCTRICO

REPORTE ANUAL DEL POTENCIAL DE MITIGACIÓN
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR
ELÉCTRICO



SENER

SECRETARÍA DE ENERGÍA

NOVIEMBRE 2018

ÍNDICE

Índice	2
Índice de Figuras	3
Índice de Cuadros	4
Resumen Ejecutivo	5
Introducción	6
I. Compromisos de mitigación de GEI en el sector eléctrico	7
I.1. Compromisos internacionales.....	7
I.2. Compromisos nacionales.....	8
II. Metodología	10
II.1. Escenario PRODESEN.....	10
II.2. Escenario PRODESEN+.....	10
III. Potencial de mitigación de GEI en el sector eléctrico	12
IV. Recomendaciones	14
Recomendaciones Generales.....	14
Incorporación de otros sectores y la perspectiva del consumo final.....	14
Referencias	15
Anexo I	16
Anexo II	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escenario tendencial y ruta de la NDC por sector económico.....	7
Figura 2. Área de estudio: sector de generación de electricidad.....	8
Figura 3. Metas de energías limpias en el marco normativo nacional	9
Figura 4. Línea Base del sector de generación de electricidad.....	10
Figura 5. Trayectoria de metas de energías limpias	11
Figura 6. Trayectoria de emisiones escenario PRODESEN	12
Figura 7. Potencial de mitigación escenario PRODESEN.....	12
Figura 8. Trayectoria de emisiones escenario PRODESEN+.....	13
Figura 9. Potencial de mitigación escenario PRODESEN+.....	13
Figura 10. Emisiones escenario PRODESEN, PRODESEN+ y NDC.....	13

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Evolución de la capacidad escenario PRODESEN.....	16
Cuadro 2. Capacidad retirada escenario PRODESEN.....	16
Cuadro 3. Capacidad adicional escenario PRODESEN.....	16
Cuadro 4. Evolución de la generación escenario PRODESEN.....	17
Cuadro 5. Emisiones escenario PRODESEN	17
Cuadro 6. Factores de emisión calculados escenario PRODESEN.....	17
Cuadro 7. Evolución de la capacidad escenario PRODESEN+	18
Cuadro 8. Capacidad retirada escenario PRODESEN+.....	18
Cuadro 9. Capacidad adicional escenario PRODESEN+	18
Cuadro 10. Evolución de la generación escenario PRODESEN+	19
Cuadro 11. Emisiones escenario PRODESEN+.....	19
Cuadro 12. Factores de emisión calculados escenario PRODESEN+	19

RESUMEN EJECUTIVO

Con el objetivo de dar cumplimiento al artículo 14 fracción IX de la LTE, la Secretaría de Energía, con la colaboración de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), presenta el primer reporte anual del potencial de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector eléctrico.

La Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés), representa los esfuerzos de los países que forman parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), para cumplir con el objetivo de estabilizar el aumento de la temperatura media global de la tierra por debajo de los 2°C. En este contexto, el 22 de abril de 2016, México suscribió el Acuerdo de París, comprometiéndose a una meta no condicionada de reducir 22 por ciento de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), implicando una reducción de 31 por ciento en las emisiones del sector eléctrico para el año 2030 sobre la Línea Base.

Este compromiso internacional está sustentado en diversas leyes e instrumentos en el marco normativo nacional. La Ley General de Cambio Climático (LGCC) y la Ley de Transición Energética (LTE) fijaron metas de generación de Energías Limpias de 25 por ciento al 2018, 30 por ciento al 2021 y 35 por ciento al 2024. Por otro lado, la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (la Estrategia) y la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) establecen metas indicativas de generación de Energías Limpias de 37.7 por ciento al 2030, 40 por ciento al 2034 y 50 por ciento al 2050.

El objetivo de este reporte es documentar los avances en el proceso de reducción de emisiones de GEI del sector eléctrico y determinar su nivel de alineación con los compromisos nacionales e internacionales en la materia. Para esto, se comparan tres trayectorias de emisiones GEI en el periodo 2018-2030:

1. Línea Base;
2. Escenario PRODESEN; y
3. Escenario PRODESEN+.

La Línea Base empleada en este reporte es aquella establecida en la ruta del sector de generación de electricidad de la NDC.

El escenario PRODESEN refleja el cumplimiento de las metas mínimas de generación limpia establecidas en la LTE y la LGCC para el periodo 2018-2024, las metas

indicativas de la Estrategia y la ENCC para el periodo 2024-2030. Lo anterior representa una trayectoria de metas de energías limpias de 25, 30, 35 y 38 por ciento al 2018, 2021, 2024 y 2030 respectivamente y la instalación de 13GW de eólica y 10GW de solar a gran escala (mayor a 0.5MW). Lo anterior representa una generación limpia de 39 por ciento de la generación total en 2030.

El escenario PRODESEN+ se construye sobre los supuestos del primer escenario, reflejando el cumplimiento de las metas establecidas en la LTE y la LGCC para el periodo 2018-2024 y explora una trayectoria de metas de energías limpias más ambiciosas para el periodo subsecuente. Lo anterior representa una trayectoria de metas de energías limpias de 25, 30, 35 y 45 por ciento al 2018, 2021, 2024 y 2030 respectivamente. Adicionalmente, este escenario considera la penetración de Generación Limpia Distribuida en la matriz eléctrica. En conjunto, lo anterior representa la instalación de 16GW de solar a gran escala, 14GW de eólica y 7GW de generación solar distribuida y una generación limpia del 44 por ciento de la generación total en 2030.

El potencial de mitigación estimado en ambos escenarios de este reporte cumple con la meta no condicionada establecida en la NDC, así como con las metas de generación limpia establecidas en el marco normativo actual. El escenario PRODESEN representa una reducción del 31 por ciento respecto a la línea base, equivalente a una mitigación de 62 MtCO_{2e} en el año 2030, mientras que el escenario PRODESEN+ representa una reducción del 36 por ciento, equivalente a una mitigación de 10 MtCO_{2e} adicionales respecto al primer escenario.

El reporte termina con una serie de recomendaciones para robustecer el alcance y homologar metodologías en actualizaciones subsecuentes de este reporte anual.

INTRODUCCIÓN

En el año 2015, el sector de generación eléctrica fue el segundo mayor contribuidor de emisiones de GEI, emitiendo 125 MtCO₂e de 683 MtCO₂e totales del país (INECC, 2015). Por otro lado, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) ha señalado que en este sector se encuentra el mayor potencial de mitigación, con una meta de reducción de 31 por ciento sobre la línea base al 2030; mayor que las reducciones planteadas para los siguientes tres sectores con mayor reducción (29, 18 y 18 por ciento para los sectores de Residuos, Transporte, Residencial y Comercial respectivamente).

Este gran potencial de mitigación se debe en gran parte al proceso de transformación global de los sistemas eléctricos. La reducción de costos de tecnologías de generación limpia y la introducción de normas y acciones de eficiencia energética desde la perspectiva del consumo final, han detonado un interés en acelerar el proceso de transición hacia un consumo más limpio y eficiente, sin necesidad de sacrificar el desarrollo económico del país, la seguridad energética o de incurrir en mayores costos de electricidad para los usuarios.

En México, esta visión está en proceso de implementación apoyada por instrumentos y mecanismos establecidos a partir de la Reforma Energética. La Ley de la Industria Eléctrica (LIE) estableció los Certificados de Energías Limpias (CEL) como principal instrumento para dar cumplimiento a las metas de generación limpia del país. Las Subastas de Largo Plazo, también un mecanismo producto de la Reforma Energética, ya ha mostrado su eficacia para adquirir grandes volúmenes de energía limpia a precios por debajo de tecnologías convencionales y que han seguido disminuyendo en cada nueva iteración.

Por otro lado, la Reforma Energética también aspira a seguir impulsando la Generación Limpia Distribuida (GLD) en el país. Para esto, el marco de la GLD se ha ido fortaleciendo gradualmente, comenzando por el establecimiento de nuevas reglas de interconexión para este tipo de centrales eléctricas en diciembre de 2016 y seguido por una nueva regulación en marzo de 2017, la cual continúa con los beneficios del esquema de medición neta anterior a la reforma y adiciona dos nuevos esquemas de contraprestación.

Bajo este contexto, el artículo 14 fracción IX de la Ley de Transición Energética (LTE) determina que corresponde a la Secretaría de Energía (SENER) la elaboración de un reporte anual del potencial de mitigación de Gases de Efecto Invernadero del sector, acorde con las necesidades de crecimiento del país y de los avances en su proceso de reducción de emisiones. Con este motivo, el objetivo general de este reporte es documentar los

avances en el proceso de reducción de emisiones del sector eléctrico y determinar su nivel de alineación con los compromisos nacionales e internacionales en la materia. Como objetivos secundarios, el proceso de elaboración de este reporte también se enfocó en:

1. Identificar las diferentes fuentes de información oficial e instituciones relevantes en materia de reducción de emisiones del sector;
2. Identificar discrepancias y trabajo futuro necesario para la homologación de la información del sector ambiental y energético;
3. Hacer recomendaciones y sentar las bases de colaboración para la elaboración de futuras versiones de este reporte anual.

En este primer reporte, se consideraron como avances en el proceso de reducción de emisiones todas aquellas acciones y metas que están contempladas en el marco normativo actual del sector eléctrico, sin perjuicio de que el potencial técnico o económico pueda ser mayor al establecido en este reporte y que se explorará con mayor detalle en versiones posteriores. Por esta razón, el principal escenario de mitigación representa el cumplimiento de las metas de generación limpia establecidas en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) y la LTE para el periodo 2018-2024, y se presentan dos niveles de ambición de posibles metas de generación para el periodo 2024-2030 donde todavía no hay metas establecidas por ley.

La elaboración del documento incluyó un primer proceso de socialización y entrevistas con instituciones del sector público. De esta forma, se enriqueció el documento con comentarios de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Instituto Nacional de Cambio Climático (INECC), así como distintas direcciones de SENER y SEMARNAT.

El reporte está dividido en 4 secciones: En la primera, se documentan los compromisos nacionales e internacionales en materia de reducción de emisiones en el sector eléctrico. Después, se describe la metodología de cálculo para establecer dos escenarios de mitigación (PRODESEN y PRODESEN+). En una tercera sección, se presentan los resultados de la modelación de los escenarios de mitigación y su alineación con los compromisos de mitigación, para finalizar con las conclusiones y recomendaciones para elaboraciones futuras de este reporte.

I. COMPROMISOS DE MITIGACIÓN DE GEI EN EL SECTOR ELÉCTRICO

En este capítulo se describen los compromisos de mitigación de GEI en el sector eléctrico, entre ellos: la Contribución Nacionalmente Determinada, la LGCC, la LTE, así como las metas indicativas de generación limpia establecidas en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios.

I.1. Compromisos internacionales

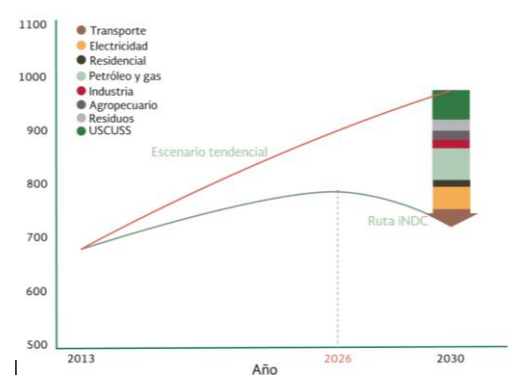
El 22 de abril de 2016, México suscribió el Acuerdo de París, confirmando su “Contribución Nacionalmente Determinada” o NDC (por sus siglas en inglés). Este acuerdo, ratificado por el Senado de la República¹ el 14 de septiembre del mismo año y armonizando su contenido con la Ley General de Cambio Climático en junio de 2018. Lo anterior representa el compromiso de México, ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), de reducir sus emisiones de GEI con el objetivo de estabilizar el aumento de la temperatura media global de la tierra por debajo de los 2°C.

El NDC de México se presentó en dos niveles de compromisos: uno sujeto a medidas no condicionadas y otro, más ambicioso, que incluiría medidas condicionadas a la adopción de un acuerdo global que incluya temas tales como un precio internacional al carbono, ajustes a aranceles por contenido de carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y a transferencia de tecnología.

El 14 de diciembre de 2015, el INECC publicó el documento “Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030”

(Gobierno de la República, 2015). En éste se expresó, a grandes rasgos la ruta de mitigación de GEI de ocho sectores económicos, incluyendo la ruta del sector de generación de electricidad para el periodo 2013-2030 (Figura 1).

FIGURA 1. ESCENARIO TENDENCIAL Y RUTA DE LA NDC POR SECTOR ECONÓMICO (MtCO₂e)

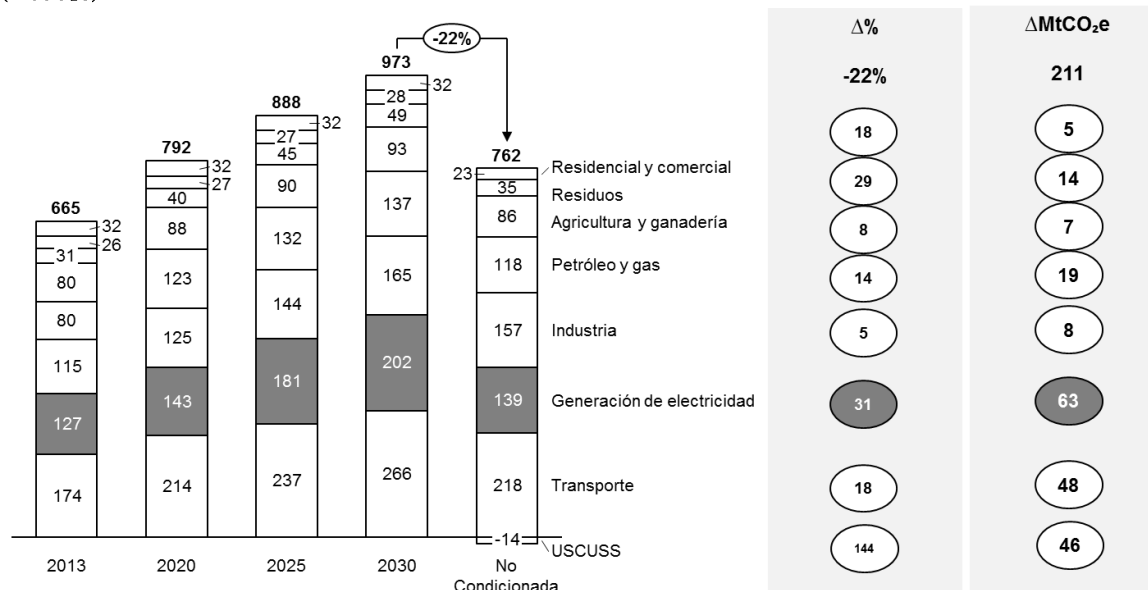


FUENTE: Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030 (Gobierno de la República, 2015).

De acuerdo a esta ruta planteada, se espera un pico en las emisiones en el año 2026, y que la mayor reducción de GEI provenga del sector de generación de electricidad, representando una reducción de 31 por ciento sobre la Línea Base en el año 2030. Esto es equivalente a una mitigación de 63 MtCO₂e (Figura 2), seguida por la mitigación esperada del sector Transporte, USCUS² y el sector Petróleo & Gas (48, 46, 19 MtCO₂e respectivamente).

¹ Las reformas a la LGCC que incorporan el Acuerdo de París fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el viernes 13 de julio de 2018.

² Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

FIGURA 2. ÁREA DE ESTUDIO: SECTOR DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD
 (MtCO₂e)


FUENTE: Elaboración propia con información de INECC (Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030, 2015).

I.2. Compromisos nacionales

Los compromisos internacionales anteriormente descritos están sustentados en diversas leyes e instrumentos del marco normativo nacional.

La Ley General de Cambio Climático (LGCC), publicada el 6 de junio de 2012 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), establece que le corresponde a la Secretaría de Energía, en colaboración con la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Reguladora de Energía, promover que la generación eléctrica provenga de fuentes de energía limpias y alcanzar por lo menos 35 por ciento de la generación total para el año 2024 (DOF, 2012). Las reformas a la LGCC, publicadas el 13 de junio de 2018, ratifican el compromiso no condicionado de reducir 22 por ciento las emisiones de GEI, adicionando que se conseguirá a través del compromiso de los diferentes sectores participantes, entre ellos -31 por ciento del sector de generación eléctrica (DOF, 2018). Las reformas a la LGCC también ratifican la meta condicionada, estableciendo que la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de carbono negro al 2030 se podrán incrementar hasta un 36 por ciento y 70 por ciento respectivamente, de manera condicionada sujeta a la adopción de un acuerdo global que incluya temas tales como un precio internacional al carbono, ajustes a aranceles por contenido de carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y a transferencia de tecnología.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), publicada el 3 de junio de 2013, es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazos para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas

emisiones de carbono (SEMARNAT, 2013). Elaborada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con la participación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y la opinión del Consejo de Cambio Climático; la ENCC identifica los principales hitos que permitirían llegar a la visión planteada, entre ellos alcanzar el 35 por ciento de la generación eléctrica proveniente de fuentes limpias en los próximos 10 años, al menos 40 por ciento en los próximos 20 años y 50 por ciento en los próximos 40 años.

El 11 de agosto de 2014, se publicó la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) en el DOF, con la finalidad de promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal, de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes (DOF, 2014). La LIE establece los Certificados de Energías Limpias como el principal instrumento para cumplir las metas de generación de electricidad limpia del país.

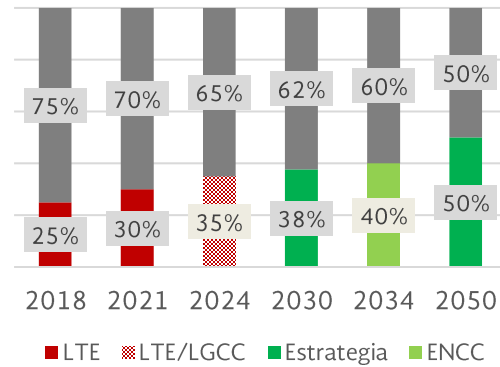
Con el objeto de regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, el 24 de diciembre de 2015 se publica en el DOF la Ley de Transición Energética (LTE). La LTE en su artículo 4 determina que, a través de las Metas de Energías Limpias y las Metas de Eficiencia Energética, la Secretaría de Energía (SENER) promoverá que la generación eléctrica proveniente de fuentes de energía limpias alcance los niveles establecidos en la LGCC para la Industria Eléctrica. Con este fin, la LTE establece una meta de participación mínima de Energías Limpias en la generación de energía eléctrica del 25 por

ciento para el año 2018, del 30 por ciento para 2021 y del 35 por ciento para 2024.

Mandatada por la LTE, el 2 de diciembre de 2016 se publica en el DOF la actualización de la primera Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (la Estrategia),³ constituyendo el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo en materia de obligaciones de energías limpias y el aprovechamiento sustentable de la energía (Gobierno de la República, 2016). Además de contar con componentes de planeación y acciones específicas, la Estrategia establece metas en materias de energías limpias para los años 2024, 2030 y 2050, complementando aquellas establecidas en la LTE. Por otro lado, la Estrategia también establece metas de eficiencia energética, planteando una reducción en la tasa anual promedio de la intensidad de consumo final de energía de 1.9 por ciento del 2016 al 2030 y 3.7 por ciento del 2031 al 2050. El impacto de esta meta en la demanda de energía eléctrica proyectada no forma parte del alcance de este estudio, per deberá ser integrado en versiones

subsecuentes, en colaboración con las instituciones correspondientes.

FIGURA 3. METAS DE ENERGÍAS LIMPIAS EN EL MARCO NORMATIVO NACIONAL



FUENTE: Elaboración propia con información de la Ley General de Cambio Climático (DOF, 2012), la Estrategia de Cambio Climático (SEMARNAT, 2013), la Ley de Transición Energética (DOF, 2015) y la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (Gobierno de la República, 2016).

³ La primera Estrategia se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 19 de diciembre de 2014, cumpliendo con lo establecido en el Decreto por el que se reforman y adicionan

diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía del 20 de agosto de 2013.

II. METODOLOGÍA

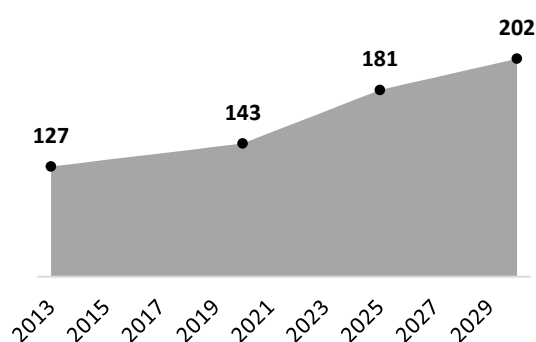
Para la elaboración de este reporte, se comparan tres trayectorias de emisiones GEI en el periodo 2018-2030:

1. Línea Base;
2. Escenario PRODESEN; y
3. Escenario PRODESEN+.

La Línea Base empleada en este reporte, es aquella establecida en la ruta del sector de generación de electricidad de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC). Esta Línea Base, calculada en 2015 por el INECC, representa la trayectoria de emisiones considerando las tendencias del sector eléctrico en el año 2013, considerado como año base. A grandes rasgos, la ruta se calculó tomando en cuenta la configuración de la matriz de energía eléctrica en el año base, proyectada hacia años futuros para cubrir la demanda de energía eléctrica esperada. La trayectoria de emisiones resultante se encuentra en la Figura 4.

Es importante resaltar que esta Línea Base está en proceso de actualización por parte del INECC, representando uno de los principales retos en materia de homologación de metodologías entre el sector ambiental y energético. La sección de recomendaciones describe en mayor detalle los retos e implicaciones de esta actualización.

FIGURA 4. LÍNEA BASE DEL SECTOR DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD
(MtCO₂e)



FUENTE: Elaboración propia con información de INECC (Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030, 2015).

Los escenarios de acciones de mitigación están basados en las acciones y metas contempladas en el marco normativo actual del sector eléctrico, sin perjuicio de que el potencial técnico o económico podría ser mayor al establecido y que se explorará con mayor detalle en

⁴ Para calcular las emisiones, se utilizaron los factores de emisión por tecnología del documento "Costos y parámetros de referencia

versiones subsecuentes de este reporte. De esta forma, se presentan dos escenarios de mitigación: PRODESEN y PRODESEN+.

II.1. Escenario PRODESEN

El escenario PRODESEN refleja el cumplimiento de las metas mínimas de generación limpia establecidas en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) y la Ley de Transición Energética (LGCC) para el periodo 2018-2024, y las metas indicativas de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (la Estrategia) para el periodo 2024-2030. Lo anterior representa una trayectoria de metas de energías limpias de 25, 30, 35 y 38 por ciento al 2018, 2021, 2024 y 2030 respectivamente.

Para determinar la trayectoria de emisiones de este escenario, se utilizó el Programa indicativo para la instalación y retiro de centrales eléctricas (PIIRCE) de la SENER contenido en el PRODESEN, el cual establece de forma indicativa los requerimientos de capacidad de generación para satisfacer la demanda de energía eléctrica, y cumplir con las metas de energías limpias. El PIIRCE tiene como objetivo resolver el problema de expansión de la capacidad de generación cuya solución represente el mínimo valor presente de los costos totales del sistema en el horizonte de planeación, utilizando un modelo de optimización cuya solución permite conocer el tipo, tamaño y ubicación de las centrales eléctricas que deben instalarse y su fecha de entrada en operación (SENER, 2018). El resultado de esta modelación es una matriz de generación que comprende una trayectoria de emisiones⁴ resultante del pronóstico de generación.

II.2. Escenario PRODESEN+

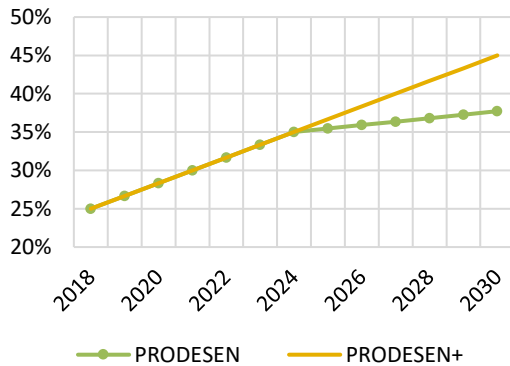
El escenario PRODESEN+ se construye sobre los supuestos del escenario anterior, reflejando el cumplimiento de las metas establecidas en la LTE y la LGCC para el periodo 2018-2024. A partir de este periodo, este escenario explora una trayectoria de metas de energías limpias más ambiciosas. Lo anterior representa una trayectoria de metas de energías limpias de 25, 30, 35 y 45 por ciento al 2018, 2021, 2024 y 2030 respectivamente, como se muestra en la Figura 5.

La lógica detrás de este escenario exploratorio es que las metas de generación limpia para el periodo 2024-2030, establecidas en la ENCC y la Estrategia, son indicativas y podrían ser revisadas en las actualizaciones

para la formulación de proyectos de inversión del sector eléctrico." (COPAR-CFE, 2015-2016).

correspondientes de cada documento. La justificación de viabilidad técnica y económica de tomar esta ruta está fuera del alcance de este reporte, pero los recientes resultados de las Subastas de Largo Plazo son indicio de que se podrían lograr metas más ambiciosas en conjunto con un mayor desarrollo económico, creación de empleos verdes y reducción de los costos de electricidad para los consumidores.

FIGURA 5. TRAYECTORIA DE METAS DE ENERGÍAS LIMPIAS



FUENTE: Elaboración propia

Adicionalmente, el escenario PRODESEN+ considera la penetración de Generación Limpia Distribuida (GLD) en la matriz de generación. Para esto, se utilizó el modelo *Distributed Generation Market Demand Model* (dGen), desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés) y adaptado para el contexto mexicano en conjunto con la Secretaría de Energía.

El modelo dGen es un modelo de expansión de Generación Distribuida basado en escenarios de usuarios que adoptan tecnología solar fotovoltaica. Los escenarios son el resultado de evaluar decisiones económicas de agentes “tipo” y agregar estas decisiones a partir de su ubicación geográfica. Por un lado, a los agentes tipo se les asigna atributos específicos, como la tarifa a la que están sujetos actualmente, un perfil de consumo, e inclusive condiciones como la tasa de interés a la que tienen acceso. Se utilizaron las diferentes tarifas domésticas, generales y

especiales. Por otro lado, el modelo realiza muestreos en las diferentes zonas geográficas (municipios) del país, reconociendo número de usuarios que corresponden a cada agente tipo ajustado de acuerdo al número de edificios identificados en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) y el Inventario Nacional de Viviendas (INV).

En el muestreo se evalúan las decisiones de los diferentes agentes tipo en cada una de estas unidades geográficas y se agregan los resultados en una unidad geográfica superior (estados o zonas de control) para asegurar que estadísticamente sean representativos. Los agentes tipo sólo adoptan los sistemas fotovoltaicos cuando la combinación de costos de tecnología, costo de financiamiento y abundancia del recurso solar lo hacen más atractivo que su tarifa eléctrica, de acuerdo con su nivel de consumo promedio. En la práctica, esto significa que los resultados del modelo consideran:

- Usuarios de acuerdo a su tarifa y el consumo promedio de acuerdo con la distribución geográfica.
- Diferencias geográficas del recurso solar.
- Diferencias de las curvas de demanda regionales.
- Densidad de usuarios actual y futura por unidad geográfica.
- Representación de contratos de medición neta de energía.
- Representación de contratos de facturación neta.
- Límite 500 kW para ser considerado generación distribuida en México.
- Exclusión de usuarios en alta tensión.
- Límites a tasa de crecimiento con base en adopción histórica.
- Tasa de área disponible en techos de acuerdo con estudios realizados en Estados Unidos.

Como resultado de este modelo, se obtuvieron tres escenarios de penetración: bajo, medio y alto. Considerando el objetivo de este reporte y las tendencias de crecimiento actual de este tipo de instalaciones, se utilizaron los resultados del escenario alto de penetración, incorporando la instalación de 7GW de generación solar distribuida al año 2030.

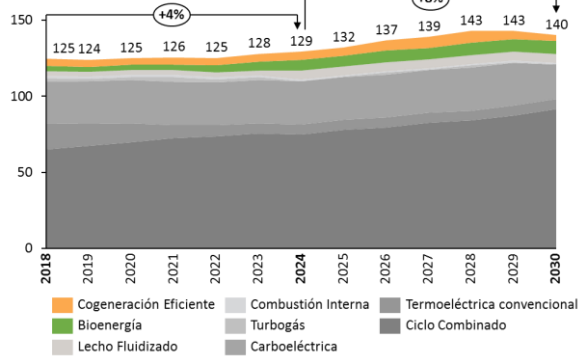
III. POTENCIAL DE MITIGACIÓN DE GEI EN EL SECTOR ELÉCTRICO

En este capítulo se describen los resultados de la modelación de los dos escenarios considerados en este reporte: PRODESEN y PRODESEN+.

PRODESEN

El resultado de este escenario representa la instalación de 32GW adicionales entre 2018 y 2030, para llegar a un total de 52GW de energía limpia. Entre las tecnologías limpias con mayor crecimiento, se instalan 13GW de eólica y 10GW de solar a gran escala (mayor a 0.5MW), logrando una matriz de generación limpia que representa el 39 por ciento del total generado en 2030, un por ciento por encima de la meta de 38 por ciento considerada en este escenario. Las emisiones resultantes por tecnología se presentan en la Figura 6.

FIGURA 6. TRAYECTORIA DE EMISIONES ESCENARIO PRODESEN (MtCO₂e)



FUENTE: Elaboración propia

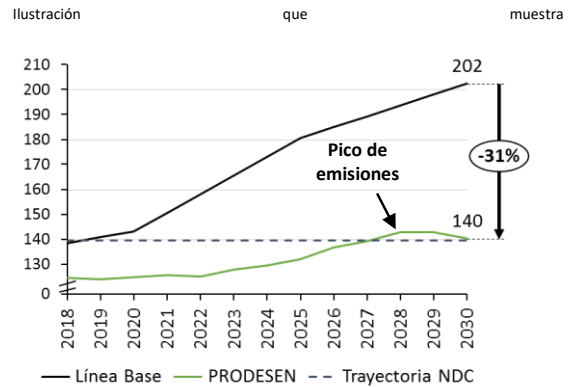
Como se puede observar en la Figura 6, las emisiones aumentan 4 por ciento en el periodo de 2018-2024 y 8 por ciento en el periodo de 2024-2028. Esto se debe a la mayor ambición de las metas de energías limpias en el primer periodo a comparación del segundo periodo en este escenario.

La tecnología con el mayor aumento de emisiones proviene del Ciclo Combinado, pasando de 65 MtCO₂e en 2018 a 92 MtCO₂e en 2030. El incremento se debe a que, al ser la tecnología convencional más eficiente, se espera la instalación de 24GW adicionales en el periodo de evaluación. Por otro lado, las centrales Termoeléctricas Convencionales tienen la mayor reducción de emisiones por tecnología, pasando de 17 MtCO₂e en 2018 a 7 MtCO₂e en 2030. En México, como en otros países, se ha optado por sustituir esta tecnología por otras de mayor eficiencia y con menor impacto ambiental, ya que una Termoeléctrica Convencional es 73 por ciento menos

eficiente que un Ciclo Combinado (SENER, 2018). Por esta razón, este escenario contempla el retiro de 7.4GW de los 12.5GW de capacidad instalada total.

El resultado de la trayectoria de mitigación es una reducción del 31 por ciento de emisiones de GEI respecto a la Línea Base, equivalente a una mitigación de 62 MtCO₂e en el año 2030. Ambas trayectorias se presentan en la Figura 7.

FIGURA 7. POTENCIAL DE MITIGACIÓN ESCENARIO PRODESEN (MtCO₂e)



FUENTE: Elaboración propia

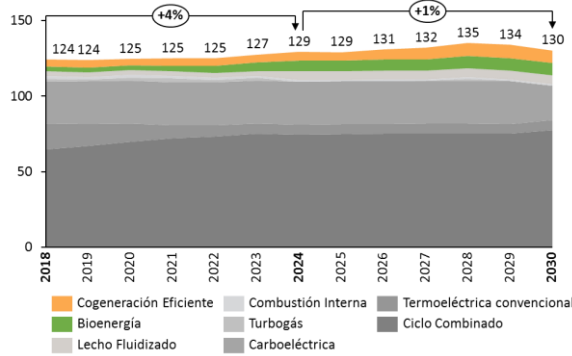
Como se puede observar en la Figura 6 y 7, el pico de emisiones en este escenario es de 143 MtCO₂e y se presenta en 2028, dos años más tarde de lo planteado en la ruta de mitigación presentada en los Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030 (Gobierno de la República, 2015).

PRODESEN+

El resultado de este escenario representa la instalación de 46GW de energías limpias adicionales entre 2018 y 2030, para llegar a un total de 68GW de energía limpia. Lo anterior incorpora una capacidad adicional instalada de energías limpias de 44GW entre 2018 y 2030, destacando 16GW de capacidad solar a gran escala, 14GW de capacidad eólica y 7GW de capacidad solar distribuida. Esta nueva matriz de generación representa el 44 por ciento de generación limpia en 2030, 6 por ciento por encima de la meta del escenario PRODESEN y uno por ciento por debajo de la meta de 45 por ciento considerada

en este escenario. Las emisiones resultantes por tecnología se presentan en la Figura 8.

FIGURA 8. TRAYECTORIA DE EMISIONES ESCENARIO PRODESEN+



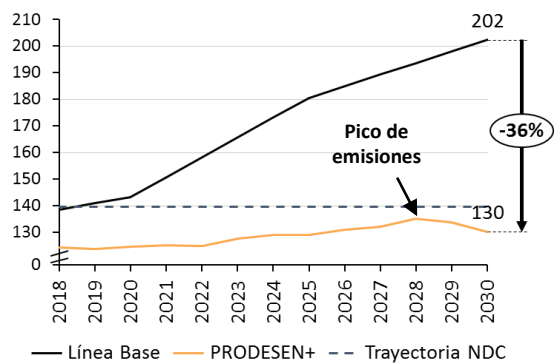
FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 8, las emisiones aumentan 4 por ciento en el periodo de 2018-2024 y uno por ciento en el periodo de 2024-2028. Esto se debe a la mayor ambición de las metas de energías limpias en el segundo periodo a comparación del escenario anterior, así como a la introducción de Generación Limpia Distribuida en la matriz energética.

En este escenario, la tecnología con el mayor aumento de emisiones proviene continúa siendo el Ciclo Combinado, pasando de 65 MtCO₂e en 2018 a 77 MtCO₂e en 2030, 15 MtCO₂e de reducción respecto al escenario anterior. La reducción se debe a que, al aumentar las metas de generación limpia y la introducción de la Generación Limpia Distribuida en la matriz, se reduce la generación esperada por esta tecnología y por ende de sus respectivas emisiones.

El resultado de la trayectoria de mitigación es una reducción del 36 por ciento de emisiones GEI respecto a la Línea Base, equivalente a una mitigación de 72 MtCO₂e en el año 2030. Ambas trayectorias se presentan en la Figura 9.

FIGURA 9. POTENCIAL DE MITIGACIÓN ESCENARIO PRODESEN+



FUENTE: Elaboración propia

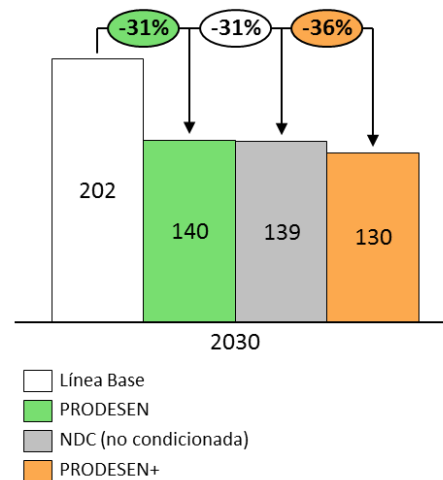
Como se puede observar en la Figura 8 y 9, el pico de emisiones en este escenario es de 135 MtCO₂e y se presenta en el año 2028. En comparación con el escenario anterior, este pico de emisiones representa los niveles que se observan entre los años 2025 y 2026.

Conclusiones

El potencial de mitigación estimado en los escenarios de este reporte cumple con la meta no condicionada establecida en la NDC, así como con las metas de generación limpia establecidas en el marco normativo actual. El escenario PRODESEN representa una reducción del 31 por ciento respecto a la línea base, equivalente a una mitigación de 62 MtCO₂e en el año 2030, mientras que el escenario PRODESEN+ representa una reducción del 36 por ciento, equivalente a una mitigación de 10 MtCO₂e adicionales respecto al escenario anterior. La Figura 10 muestra el potencial de mitigación de ambos escenarios en relación a la meta no condicionada de la NDC.

FIGURA 10. EMISIONES ESCENARIO PRODESEN, PRODESEN+ Y NDC

(MtCO₂e)



FUENTE: Elaboración propia.

Los resultados de este primer reporte deben interpretarse considerando el alcance que se detalla al inicio del documento. Fundamentalmente, este ejercicio de estimación del potencial de mitigación está enfocado en la perspectiva de generación, sin incluir efectos importantes en el lado del consumo final que tendrán un gran impacto en la demanda esperada del sistema y, por lo tanto, en los resultados del ejercicio. Para ampliar el alcance en versiones futuras de este reporte anual, la siguiente sección detalla algunos de los elementos más importantes a considerar identificados durante el proceso de elaboración.

IV. RECOMENDACIONES

La elaboración de este reporte contó con la contribución de distintas instituciones, entre ellas la CONUEE, CRE, CFE, CENACE e INECC, además de un trabajo coordinado entre la SENER, la SEMARNAT y la Cooperación Alemana para el Desarrollo Sostenible en México (GIZ) en el marco del proyecto “Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático en México – CONECC”. El reporte será publicado anualmente, por lo que es importante considerar que la elaboración del mismo será un proceso de actualización y mejora continua, que debe ser cada vez más robusto en su alcance y homogéneo en el uso de modelos y metodologías.

En este sentido, se enlistan las principales recomendaciones a continuación.

Recomendaciones Generales

Los resultados del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) son una parte fundamental de la metodología de estimación del potencial de mitigación en el sector eléctrico, tanto para este reporte, como para el establecimiento de la Línea Base presentada en la NDC.

- Se deben homologar las metodologías de cálculo de emisiones entre el PRODESEN, el INECC y el equipo responsable de la elaboración de este reporte, considerando supuestos que reflejen el estado actual del sistema eléctrico nacional y la perspectiva experta de cada equipo.
- Se debe establecer un Grupo de Trabajo permanente para la elaboración de este reporte, que incluya a las principales instituciones identificadas.
- Se debe actualizar este reporte en paralelo a la elaboración de la nueva versión del PRODESEN.

Incorporación de otros sectores y la perspectiva del consumo final

El alcance de esta primera versión del reporte se enfocó en la perspectiva de generación, sin considerar diferentes escenarios en el consumo final. Los impactos de medidas de eficiencia energética, la electrificación esperada de otros sectores productivos, así como la disminución de pérdidas en las redes de transmisión y distribución tienen un impacto considerable en la demanda esperada, que deberá ser estudiado para reportes posteriores. Para lograr lo anterior, uno de los retos es la amplitud de la

información a considerar, que requerirá de estudios homologados de diferentes sectores productivos y de un esfuerzo coordinado para que los resultados puedan ser integrados en versiones futuras de este reporte.

El Anexo II presenta un resumen de un estudio recientemente publicado por la CONUEE, como ejemplo de la labor requerida para estimar el efecto de medidas de eficiencia energética en otros sectores, en este caso enfocado al sector industrial de México. El estudio explora 50 medidas de eficiencia energética (térmicas y eléctricas) para el sector Industria y su impacto en términos de ahorros de energía y reducción de emisiones en este sector.

- Se debe integrar el trabajo de la CONUEE respecto a eficiencia energética en el sector Industrial y exploración de interrelaciones con el sector eléctrico.
- Se debe integrar a la CONUEE en el Grupo de Trabajo de este reporte, para incorporar el estado actual de las medidas de eficiencia energética en otros sectores productivos y su interrelación con el sector de generación eléctrica.
- Por medio de la vinculación entre SENER, CENACE y CONUEE, se deben incluir supuestos de eficiencia energética en el PRODESEN, de manera que se estudien los posibles cambios en el consumo final.
- Se debe estimar la demanda horaria esperada sin medidas de eficiencia energética y otra separada con medidas de eficiencia energética para poder integrar escenarios de eficiencia energética en la próxima actualización del PRODESEN.

La SEMARNAT da seguimiento a los avances en la implementación de la NDC en México y tiene información relevante a los avances en otros sectores, que podrían tener un impacto en la demanda esperada del sector eléctrico.

- Por medio de la vinculación con SEMARNAT, se debe considerar los avances de la NDC no considerados en este reporte y su posible interrelación con el sector eléctrico.
 - Políticas Públicas para mitigación de otros sectores.
 - Registro Nacional de Emisiones (RENE).
 - Mercado de Carbono.
 - Financiamiento Climático.
 - Transparencia y rendición de cuentas.
 - Aspectos institucionales.

REFERENCIAS

- DOF. (2012). *Ley General de Cambio Climático*. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_190118.pdf
- DOF. (2014). *Ley de la Industria Eléctrica*. Obtenido de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014
- DOF. (2015). *Ley de Transición Energética*. Obtenido de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- DOF. (2018). *Ley General de Cambio Climático*. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- Gobierno de la República. (2015). *Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030*. Ciudad de México: INECC. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39248/2015_indc_esp.pdf
- Gobierno de la República. (2016). *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182202/20161110_1300h_Estrategia_CCTE-1.pdf
- INECC. (2015). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*. INECC. Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- INECC. (2018). *Línea Base de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de México en el Marco de sus Contribución Determinada a Nivel Nacional 2013-2030 (Actualización 218)*. Ciudad de México: INECC.
- Secretaría de Energía. (2017). *Beneficios de la Generación Limpia Distribuida y la Eficiencia Energética en México*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/201875/Beneficios_de_la_GLD_y_EE_en_Mexico.pdf
- Secretaría de Energía. (2017). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017 - 2031 PRODESEN*. Obtenido de <http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2017/PRODESEN-2017-2031.pdf>
- SEMARNAT. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Obtenido de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013
- SENER. (2018). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN 2018-2032)*. Obtenido de <http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2018/PRODESEN18.pdf>

ANEXO I

Cuadros adicionales de los escenarios de mitigación

Escenario PRODESEN

CUADRO 1. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD ESCENARIO PRODESEN (MW)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	30.125	33.726	34.281	35.155	36.870	40.586	41.243	42.569	44.708	45.776	47.510	49.765	50.577
Termoeléctrica convencional	11.712	11.712	8.296	7.476	7.156	5.120	5.120	5.120	5.120	5.120	5.120	5.120	5.120
Carboeléctrica	5.378	5.507	5.507	5.507	5.507	5.507	5.507	5.507	5.507	5.507	5.507	4.107	4.107
Turbogás	5.062	5.062	5.746	5.746	5.663	5.311	5.311	5.311	5.341	5.298	5.298	5.298	5.298
Combustión Interna	1.635	1.657	1.657	1.768	1.695	1.738	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706
Lecho Fluidizado	580	580	580	580	580	580	1.041	1.041	1.041	1.041	1.041	1.041	1.041
Hidroeléctrica	12.642	12.671	12.671	12.671	12.671	12.671	13.135	13.198	13.198	13.244	13.676	13.747	14.393
Eólica	4.875	6.591	8.128	8.862	11.231	12.417	14.414	15.530	15.750	16.600	16.903	17.303	17.656
Geotérmica	951	936	906	891	891	891	891	917	1.067	1.317	1.450	1.450	1.550
Solar (Utility)	1.971	4.426	5.630	7.555	7.755	8.055	8.355	8.691	9.031	9.377	9.727	10.077	10.577
Termosolar	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Nucleoeléctrica	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608	2.968	4.329
Bioenergía	1.010	1.010	1.010	1.050	1.291	1.577	1.725	1.725	1.823	1.823	1.947	1.947	1.947
Cogeneración Eficiente	1.930	1.931	1.931	1.931	1.931	2.014	2.134	2.134	2.592	2.972	2.972	3.634	3.634
Solar (Generación Distribuida)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	79,492	87,430	87,962	90,811	94,862	98,089	102,204	105,071	108,505	111,403	114,479	118,177	121,948

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 2. CAPACIDAD RETIRADA ESCENARIO PRODESEN (MW)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	226	-	211	-	226	240	232	-	-	-	522	-	-
Termoeléctrica convencional	834	-	3.416	820	320	2.036	-	-	-	-	-	-	-
Carboeléctrica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.400	-
Turbogás	74	-	206	-	183	669	-	-	-	43	-	-	-
Combustión Interna	-	-	-	-	73	-	32	-	-	-	-	-	-
Lecho Fluidizado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidroeléctrica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eólica	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geotérmica	-	15	30	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solar (Utility)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Termosolar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nucleoeléctrica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bioenergía	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cogeneración Eficiente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solar (Generación Distribuida)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1,135	15	3,863	835	801	2,945	263	-	-	43	522	1,400	-

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 3. CAPACIDAD ADICIONAL ESCENARIO PRODESEN (MW)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	2.268	3.601	766	874	1.939	3.898	889	1.289	1.663	1.632	2.131	2.211	956
Termoeléctrica convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carboeléctrica	-	129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbogás	-	-	890	-	100	347	-	-	-	-	-	-	-
Combustión Interna	-	22	-	111	-	43	-	-	-	-	-	-	-
Lecho Fluidizado	-	-	-	-	-	-	461	-	-	-	-	-	-
Hidroeléctrica	-	29	-	-	-	-	454	111	-	-	432	230	487
Eólica	677	1.716	1.537	734	2.369	1.297	1.838	1.209	138	850	303	400	353
Geotérmica	25	-	-	-	-	26	-	-	150	217	189	-	100
Solar (Utility)	1.767	2.455	1.203	1.925	200	300	300	336	340	346	350	350	500
Termosolar	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nucleoeléctrica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.360	1.360
Bioenergía	3	-	-	40	241	255	179	-	98	-	124	-	-
Cogeneración Eficiente	679	1	-	-	-	84	120	-	457	380	-	662	-
Solar (Generación Distribuida)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	5,433	7,952	4,396	3,684	4,849	6,251	4,240	2,946	2,846	3,426	3,528	5,214	3,756

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 4. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN ESCENARIO PRODESEN

(GWh)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	164,714	170,743	176,844	183,344	186,142	191,514	189,769	197,487	201,083	208,997	212,750	221,183	231,981
Termoeléctrica convencional	25,014	20,905	17,870	12,377	10,720	9,534	9,293	9,287	9,287	9,287	9,293	9,287	9,287
Carboeléctrica	34,502	35,370	35,529	35,450	35,450	35,450	35,529	35,450	35,450	35,450	35,529	35,450	28,846
Turbogás	2,380	1,221	1,941	4,032	1,340	1,448	238	242	2,812	267	2,482	321	356
Combustión Interna	2,560	2,157	2,526	2,311	2,181	1,719	1,495	1,422	1,409	1,392	1,397	1,430	1,371
Lecho Fluidizado	3,825	3,825	3,825	3,825	3,825	3,825	7,227	7,218	7,218	7,218	7,227	7,218	7,218
Hidroeléctrica	32,208	32,329	32,404	32,334	32,334	32,334	34,403	34,683	34,683	34,683	36,663	37,594	39,224
Eólica	13,833	18,155	23,600	26,390	36,134	40,549	46,745	50,590	51,009	53,872	55,028	56,240	57,342
Geotérmica	6,671	6,651	5,553	6,403	6,306	6,491	6,509	6,491	7,542	9,065	10,418	10,389	11,090
Solar (Utility)	1,266	5,889	8,761	11,561	13,472	13,978	14,544	15,047	15,631	16,221	16,879	17,440	18,196
Termosolar	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Nucleoeléctrica	10,931	10,931	10,961	10,931	10,931	10,931	10,961	10,931	10,931	10,931	10,961	20,178	29,422
Bioenergía	4,060	4,060	4,071	4,348	6,103	7,944	9,257	9,231	9,939	9,939	10,861	10,831	10,831
Cogeneración Eficiente	11,347	11,539	10,489	11,897	11,539	11,911	13,303	12,804	15,725	17,760	18,463	13,716	10,074
Solar (Generación Distribuida)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	313,335	323,798	334,398	345,228	356,502	367,653	379,297	390,908	402,744	415,107	427,975	441,302	455,263

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 5. EMISIONES ESCENARIO PRODESEN

(MtCO₂e)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	65	67	70	72	73	76	75	78	79	82	84	87	92
Termoeléctrica convencional	17	14	12	9	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Carboeléctrica	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	23
Turbogás	2	1	2	3	2	2	0	0	2	0	1	0	0
Combustión Interna	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lecho Fluidizado	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6
Bioenergía	3	3	3	3	5	6	7	7	8	8	8	8	8
Cogeneración Eficiente	5	5	4	5	5	5	6	5	7	7	8	6	4
Total	125	124	125	126	125	128	129	132	137	139	143	143	140

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 6. FACTORES DE EMISIÓN CALCULADOS ESCENARIO PRODESEN

(tCO₂e/MWh)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946
Termoeléctrica convencional	0.6810	0.6856	0.6868	0.6969	0.6979	0.7013	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004
Carboeléctrica	0.7965	0.7975	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7890
Turbogás	0.9353	1.1909	1.1129	0.7821	1.2686	1.3185	0.5790	0.5959	0.5366	0.6780	0.5514	0.8098	0.8732
Combustión Interna	0.6749	0.6602	0.6737	0.6686	0.6657	0.6745	0.6739	0.6753	0.6756	0.6757	0.6773	0.6797	0.6782
Lecho Fluidizado	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060
Bioenergía	0.8088	0.8088	0.8088	0.8018	0.7941	0.7656	0.7594	0.7594	0.7615	0.7615	0.7638	0.7638	0.7638
Cogeneración Eficiente	0.4160	0.4182	0.3975	0.4227	0.4184	0.4272	0.4300	0.4256	0.4246	0.4153	0.4202	0.4057	0.4097

FUENTE: Elaboración propia

Escenario PRODESEN+

CUADRO 7. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD ESCENARIO PRODESEN+ (MW)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	30,125	33,727	34,281	35,155	36,868	40,582	41,239	42,286	43,884	45,428	46,941	49,126	50,055
Termoeléctrica convencional	11,712	11,712	8,296	7,476	7,156	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120	5,120
Carboeléctrica	5,378	5,507	5,507	5,507	5,507	5,507	5,507	5,507	5,507	5,507	5,507	4,107	4,107
Turbogás	5,062	5,062	5,746	5,746	5,663	5,341	5,341	5,341	5,341	5,298	5,298	5,298	5,298
Combustión Interna	1,635	1,657	1,657	1,768	1,695	1,738	1,706	1,706	1,706	1,706	1,706	1,706	1,706
Lecho Fluidizado	580	580	580	580	580	580	1,041	1,041	1,041	1,041	1,041	1,041	1,041
Hidroeléctrica	12,642	12,671	12,671	12,671	12,671	12,671	13,125	13,244	13,244	13,244	13,676	13,906	14,393
Eólica	4,875	6,591	8,128	8,862	11,051	12,237	13,930	15,897	16,390	17,398	17,701	18,101	18,454
Geotérmica	951	936	906	891	891	917	917	917	1,097	1,347	1,614	1,614	1,714
Solar (Utility)	1,971	4,426	5,630	7,555	7,755	8,055	8,406	10,711	13,115	14,993	15,514	15,864	16,364
Termosolar	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Nucleoeléctrica	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	2,968	4,329
Bioenergía	1,010	1,010	1,010	1,050	1,291	1,546	1,725	1,725	1,823	1,823	1,947	1,947	1,947
Cogeneración Eficiente	1,930	1,931	1,931	1,931	1,931	2,014	2,134	2,134	2,592	2,972	2,972	3,634	3,634
Solar (Generación Distribuida)	495	551	608	739	870	1,146	1,421	1,974	2,527	3,496	4,465	5,949	7,434
Total	79,987	87,981	88,571	91,551	95,550	99,077	103,235	109,226	115,007	120,994	125,123	130,395	135,609

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 8. CAPACIDAD RETIRADA ESCENARIO PRODESEN+ (MW)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	226		211		226	240	232				522		
Termoeléctrica convencional	834		3,416	820	320	2,036						1,400	
Carboeléctrica													
Turbogás	74		206		183	669				43			
Combustión Interna					73		32						
Lecho Fluidizado													
Hidroeléctrica													
Eólica	0.6												
Geotérmica		15	30	15									
Solar (Utility)													
Termosolar													
Nucleoeléctrica													
Bioenergía													
Cogeneración Eficiente													
Solar (Generación Distribuida)													
Total	1,135	15	3,863	835	801	2,945	263	-	-	43	522	1,400	-

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 9. CAPACIDAD ADICIONAL ESCENARIO PRODESEN+ (MW)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	2,268	3,601	766	874	1,939	3,954	889	1,047	1,597	1,544	2,035	2,185	929
Termoeléctrica convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carboeléctrica	-	129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbogás	-	-	890	-	100	347	-	-	-	-	-	-	-
Combustión Interna	-	22	-	111	-	43	-	-	-	-	-	-	-
Lecho Fluidizado	-	-	-	-	-	-	461	-	-	-	-	-	-
Hidroeléctrica	-	29	-	-	-	-	454	119	-	-	432	230	487
Eólica	677	1,716	1,537	734	2,190	1,186	1,693	1,967	493	1,008	303	400	353
Geotérmica	25	-	-	-	-	26	-	-	180	250	267	-	100
Solar (Utility)	1,767	2,455	1,203	1,925	200	300	351	2,305	2,403	1,879	521	350	500
Termosolar	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nucleoeléctrica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,360	1,360
Bioenergía	3	-	-	40	241	255	179	-	98	-	124	-	-
Cogeneración Eficiente	679	1	-	-	-	84	120	-	457	380	-	662	-
Solar (Generación Distribuida)	155	57	57	131	131	276	276	553	553	969	969	1,485	1,485
Total	5,587	8,009	4,452	3,815	4,801	6,471	4,421	5,991	5,782	6,030	4,651	6,672	5,214

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 10. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN ESCENARIO PRODESEN+ (GWh)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	164.114	170.127	176.242	182.755	185.407	190.717	188.834	189.689	190.171	190.368	190.351	190.163	196.387
Termoeléctrica convencional	25.013	20.858	17.869	12.335	10.745	9.534	9.293	9.287	9.287	9.287	9.293	9.287	9.287
Carboeléctrica	34.502	35.370	35.529	35.450	35.450	35.450	35.529	35.450	35.450	35.450	35.529	35.450	28.846
Turbogás	2.389	1.214	1.910	3.531	1.323	1.409	238	241	249	261	2.846	300	323
Combustión Interna	2.559	2.212	2.525	2.278	2.175	1.719	1.495	1.420	1.405	1.391	1.380	1.372	1.330
Lecho Fluidizado	3.825	3.825	3.825	3.825	3.825	3.825	7.227	7.218	7.218	7.218	7.227	7.218	7.218
Hidroeléctrica	32.208	32.329	32.404	32.334	32.334	32.334	34.403	34.705	34.705	34.705	36.685	37.616	39.253
Éólica	13.833	18.155	23.600	26.390	35.494	39.578	45.345	51.576	53.136	56.483	57.648	58.851	59.953
Geotérmica	6.524	6.595	5.235	6.403	6.306	6.491	6.509	6.491	7.752	9.504	11.409	11.377	12.078
Solar (Utility)	1.266	5.889	8.761	11.561	13.472	13.978	14.637	18.608	22.811	26.007	26.982	27.511	28.268
Termosolar	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Nucleoeléctrica	10.931	10.931	10.961	10.931	10.931	10.931	10.961	10.931	10.931	10.931	10.961	20.178	29.425
Bioenergía	4.060	4.060	4.071	4.348	6.103	7.944	9.257	9.231	9.939	9.939	10.861	10.831	10.831
Cogeneración Eficiente	11.308	11.340	10.482	11.897	11.539	11.911	13.303	12.923	15.678	18.026	19.740	21.741	20.316
Solar (Generación Distribuida)	780	870	959	1.166	1.372	1.807	2.241	3.113	3.985	5.512	7.040	9.381	11.722
Total	313.335	323.798	334.398	345.228	356.502	367.653	379.297	390.908	402.744	415.107	427.975	441.302	455.263

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 11. EMISIONES ESCENARIO PRODESEN+ (MtCO₂e)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	65	67	70	72	73	75	75	75	75	75	75	75	77
Termoeléctrica convencional	17	14	12	9	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Carboeléctrica	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	23
Turbogás	2	1	2	3	2	2	0	0	0	0	2	0	0
Combustión Interna	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lecho Fluidizado	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6
Bioenergía	3	3	3	3	5	6	7	7	8	8	8	8	8
Cogeneración Eficiente	5	5	4	5	5	5	6	6	7	8	8	9	8
Total	124	124	125	125	125	127	129	129	131	132	135	134	130

FUENTE: Elaboración propia

CUADRO 12. FACTORES DE EMISIÓN CALCULADOS ESCENARIO PRODESEN+ (tCO₂e/MWh)

Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ciclo Combinado	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946	0.3946
Termoeléctrica convencional	0.6810	0.6854	0.6868	0.6965	0.6980	0.7013	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004	0.7004
Carboeléctrica	0.7965	0.7975	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7976	0.7890
Turbogás	0.9323	1.1894	1.1175	0.8147	1.2669	1.3145	0.5778	0.5923	0.6217	0.6605	0.5450	0.7632	0.8141
Combustión Interna	0.6748	0.6635	0.6736	0.6678	0.6656	0.6745	0.6739	0.6751	0.6754	0.6756	0.6759	0.6773	0.6764
Lecho Fluidizado	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060	0.8060
Bioenergía	0.8088	0.8088	0.8088	0.8018	0.7941	0.7656	0.7594	0.7594	0.7615	0.7615	0.7638	0.7638	0.7638
Cogeneración Eficiente	0.4156	0.4163	0.3973	0.4227	0.4184	0.4272	0.4300	0.4265	0.4235	0.4172	0.4272	0.4017	0.4021

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO II

Propuesta de Instrumentos para facilitar medidas de eficiencia energética en el sector industrial de México

Antecedentes

El documento *Propuesta de Instrumentos para facilitar medidas de eficiencia energética en el sector industrial de México*, elaborado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) en colaboración con la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ) y la Iniciativa de Energía de la Unión Europea (EUEI PDF, por sus siglas en inglés), y con el apoyo técnico de Fundación Bariloche de Argentina, es un ejemplo de trabajo consensual entre los sectores público, privado y académico⁵.

Este documento, desarrollado desde 2016 y publicado en octubre de 2018, tiene como objetivo proveer insumos para mejorar la Hoja de Ruta en materia de Eficiencia Energética publicada en enero de 2017, con el propósito de establecer la secuencia de pasos que permitan contribuir a alcanzar las metas de eficiencia energética señaladas en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (Estrategia) en el sector industrial. Asimismo, es importante mencionar que este ejercicio contó con la participación de diferentes sectores de la población, tanto del ámbito académico, como representantes de las empresas relacionadas con el estudio, empresas de consultoría, agencias de cooperación internacional y también de otras dependencias y entidades de la Administración Pública Federal como la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la Secretaría de Economía Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Instituto de Ecología y Cambio Climático, la Procuraduría Federal de Protección Ambiental, entre otras.

La aplicación de medidas y políticas definidas en el marco de acciones de eficiencia energética en el sector industrial contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Este sector es relevante analizar debido a que, de acuerdo con el Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) en 2013, la industria contribuyó en 2013 con 17.2% de las emisiones totales de GEI, teniendo como principales emisores la industria de cemento y cal con 5.2%; seguido por la industria siderúrgica con 3.6%; la minería con 1.4%; la industria química con 1.2% y la petroquímica con 0.9%. Estas ramas de actividad industrial representan en conjunto cerca de 72% de las emisiones totales de la industria.

Modelación

Además de la importancia del proceso participativo y de coordinación entre los sectores, este proyecto cuenta con gran relevancia ya que incluye un diagnóstico cuali-cuantitativo sobre la identificación de potenciales de ahorro de energía y sus beneficios. La parte cualitativa se desarrolló mediante entrevistas a actores clave, talleres participativos con los representantes de los subsectores, así como con investigación de gabinete sobre instrumentos internacionales y antecedentes nacionales y la parte cuantitativa se refiere al ejercicio de modelación energética con el que se identificaron potenciales de ahorro de energía por subsector de la industria y los beneficios que se pueden obtener, derivados de ese ahorro, para el gobierno y para la sociedad como son la infraestructura evitada para cubrir la demanda energética, la disminución de importaciones de combustibles y la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, lo cual en un análisis costo-beneficio de la implementación de las medidas tiene resultados positivos.

Los objetivos de realizar un ejercicio de modelación fueron:

- Cuantificar los ahorros energéticos de un conjunto de medidas concretas y factibles vinculadas directamente con eficiencia energética.
- Estimar el potencial producto de implementar las medidas con un alcance de 70% al interior de los sectores.
- Evaluar el costo económico social como elemento de guía para la priorización de las medidas.

El ejercicio de modelación cuenta con las siguientes consideraciones:

- Se utilizó una aproximación de tipo ascendente (bottom-up) para la modelación del sector industrial, en cuanto a la estimación de usos y consumo de energéticos.
- Se identificaron medidas específicas estimando:
 - Impacto en términos de ahorro energético por uso.
 - Costo de implementación.
 - Costo o ahorro operativo.
 - Sustitución de combustibles (si la hubiera).

⁵ El estudio completo, incluidos los documentos adicionales y anexos, se encuentra disponible en: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/propuesta-de-instrumentos-para-facilitar-medidas-de-eficiencia-energetica-en-el-sector-industrial-de-mexico>

- Se modeló el sistema energético mexicano completo con la asistencia de la herramienta Long-range Energy Alternatives Planning system (LEAP), para visualizar y cuantificar las interrelaciones existentes.
- Se utilizó una línea base tomando en cuenta las proyecciones de crecimiento actuales de fuentes oficiales nacionales.
- Se utilizaron las proyecciones de expansión del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN).
- Los precios de la energía considerados corresponden al World Energy Outlook (WEO) 2017 de la IEA.
- La adecuación de las medidas se realizó a partir de una profunda revisión de literatura, entrevistas a personas de los sectores público y privado, así como la validación de los representantes de la industria.
- Se seleccionaron 50 medidas, correspondientes a los distintos subsectores, las cuales se evaluaron en escenarios independientes para aislar sus impactos.
- Se realizaron escenarios que combinan las medidas, resultando en agregados diferentes por efecto acoplado de las mismas.

Resultados

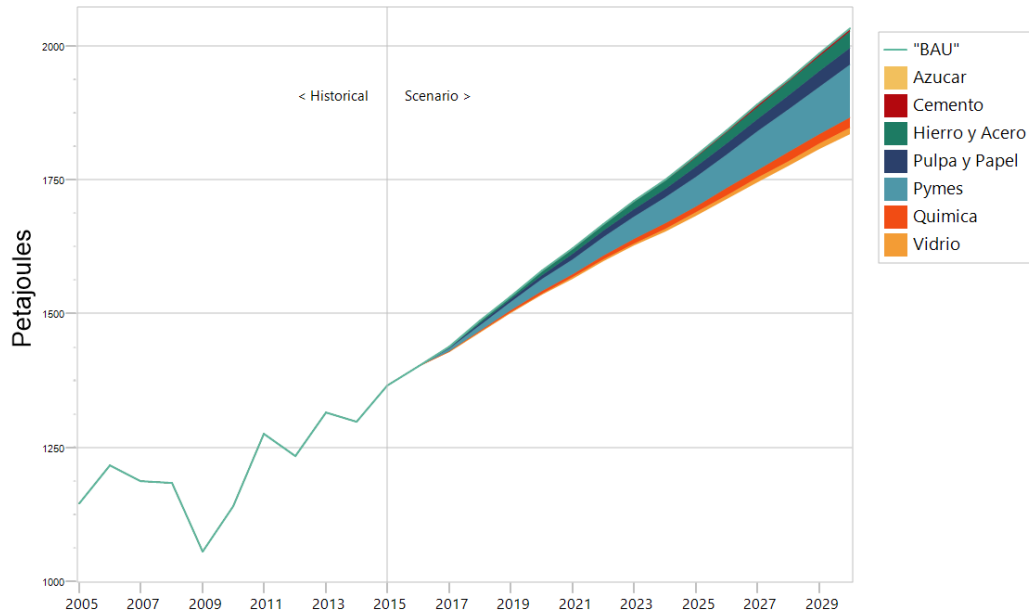
Como parte de los resultados del estudio y su modelación, se identificaron, consensuaron y analizaron 50 medidas técnicas y de buenas prácticas; el valor de máximo de ahorro con respecto al escenario base o *Business-as-usual* (BAU) en el año 2030 de las medidas identificadas se ubicó en el 9.9% de la demanda industrial, resultando en una reducción de la intensidad energética del 8% respecto del escenario base en el año 2030. Las emisiones directas de GEI evitadas al 2030 para el total de la industria con respecto al BAU ascienden a 9.7 millones de tCO₂e, lo que equivale a una reducción del 9%. Las emisiones evitadas del sistema energético se ubican en 24.1 millones de tCO₂e y representan un 4.2% de las emisiones totales del BAU en dicho año.

Sin embargo, del total de esas medidas (si se consideran aquellas cuyos beneficios superan a los costos, ambos descontados al 10%) las que resultarían viables, desde la perspectiva de la sociedad en su conjunto y con las hipótesis de costos y técnicas adoptadas, serían 37. De las 13 medidas que no pasan este criterio, 9 poseen costos descontados superiores a los beneficios, y 4 no tienen información de costos. En este sentido, el ahorro energético al 2030 proveniente de estas 37 medidas, será del 8.2% del consumo del 2030 en el BAU, las emisiones de GEI se reducirían un 8.5% con respecto al total de industria al 2030 del BAU y se tendría un ahorro neto (beneficios) total de \$5,937 MUSD (Tabla 1).

Tabla 1. Impactos correspondientes a la modelación de las medidas analizadas y de las medidas viables

No. de Medidas	Emisiones Evitadas (kTon CO ₂ e)	Emisiones Evitadas (%)	Energía ahorrada (PJ)	Energía ahorrada (%)	Emisiones evitadas a nivel País (kTon CO ₂ e)	Emisiones evitadas a nivel País (%)
50 medidas	9,736.0	9.0%	235.0	9.9%	24,146.5	4.2%
37 medidas	9,167.0	8.5%	196.3	8.2%	15,728.2	2.8%

Figura I. Potencial de ahorro de energía por subsector de la industria en México



Es importante mencionar que la actual Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) de México no contempló a la eficiencia energética en sus estimaciones, por lo que el potencial de mitigación presentado en este estudio es adicional a lo que se presenta en la NDC, además, este trabajo, al contar con el apoyo y participación de los representantes de Cámaras y Asociaciones industriales mexicanas, cuenta con aceptación y factibilidad para desarrollarse en el futuro, bajo las condiciones que incentiven la eficiencia energética en este sector productivo.

Por otro lado, el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN), tampoco considera los efectos de la eficiencia energética para modelar la demanda de energía futura y sus implicaciones en la infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional, lo cual es de mayor importancia ya que la tendencia, en el sector industrial y en todos los sectores de consumo de energía, es un futuro que tiende más hacia el uso de la energía eléctrica.

Por lo anterior, es necesario consolidar metodologías que incluyan los efectos de la eficiencia energética, tanto en la planeación del sector energético, como en las metas de mitigación del cambio climático.