



REPORTE

2017

ESTE INFORME  
SE REALIZO EN  
COLABORACIÓN  
CON:



**REPORTE SOBRE LA REVISIÓN DEL  
COMPONENTE DE MITIGACIÓN ESPERADO  
EN LAS CONTRIBUCIONES NACIONALMENTE  
DETERMINADAS PARA EL SECTOR  
DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y  
EL ESTABLECIDO EN EL PRODESEN 2016-2030**

## AUTOR

Dr. Jorge M. Islas Samperio  
Investigador Titular del Instituto de Energías Renovables de la UNAM

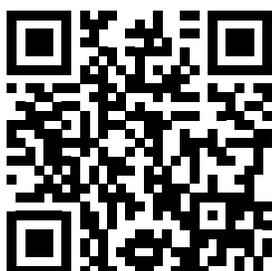
## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Dra. Genice K. Grande Acosta y al M. en C. Fidel Carrasco González por la asistencia técnica en la elaboración de este Reporte Final.

Diseño: Victor González / [gvic1105@gmail.com](mailto:gvic1105@gmail.com)  
Mariana Sasso / [mariana.pandawwf@gmail.com](mailto:mariana.pandawwf@gmail.com)

Cómo citar esta publicación:  
WWF e ICM, 2017. Generación eléctrica y pico de emisiones: Reflexiones sobre la planeación del sector y los compromisos climáticos de México. Ciudad de México.

Para más información visite:



# CONTENIDO

Introducción	5
Objetivos y metas	6
Área de estudio	7
Compromisos internacionales de mitigación ante el cambio climático 2020-2030	7
Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2016-2030	8
Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios	9
Metodología	10
Construcción del escenario base de emisiones de GEI del sector eléctrico en México	10
1. Establecimiento del año de referencia	10
2. Proyecciones al año 2030	11
Resultados	13
PRODESEN optimizado	13
PRODESEN por orden de mérito	15
Conclusiones	18
Anexo 1	20
Anexo 2	21
Literatura	23

# LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. Línea base y pico de emisiones para los NDC en México	8
FIGURA 2. Trayectoria de las metas de energías limpias 2016-2030	8
FIGURA 3. Trayectoria de las metas de energías limpias 2020-2050	9
FIGURA 4. Emisiones de GEI correspondientes a la expansión del SEN en PRODESEN 2016-2030 (optimizado)	14
FIGURA 5. Generación de electricidad a partir de energía limpia en PRODESEN 2016-2030 (optimizado)	15
FIGURA 6. Emisiones de GEI correspondientes a la expansión del SEN en PRODESEN 2016-2030 (orden de mérito).	16
FIGURA 7. Generación de electricidad a partir de energía limpia en PRODESEN 2016-2030 (orden de mérito)	17
FIGURA 8. Comparativo meta de reducción de emisiones de los NDC al año 2030 vs PRODESEN	18
FIGURA 9. Comparativo meta de participación de energías limpias vs. PRODESEN	19
FIGURA 10. Expansión de la capacidad instalada en PRODESEN 2016-2030	20

## LISTADO DE CUADROS

---

CUADRO 1. Línea base y meta de reducción de los NDC para México	7
CUADRO 2. Emisiones de GEI correspondientes a la expansión del SEN en PRODESEN 2016-2030 (optimizado)	13
CUADRO 3. Participación de energía limpia en la generación de electricidad en PRODESEN 2016-2030 (optimizado)	14
CUADRO 4. Emisiones de GEI correspondientes a la expansión del SEN en PRODESEN 2016-2030 (orden de mérito)	16
CUADRO 5. Participación de energía limpia en la generación de electricidad en PRODESEN 2016-030 (orden de mérito)	17

## LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

---

CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DOF	Diario Oficial de la Federación
EB	Escenario Base o Tendencial
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWh	Giga watts-hora
INDC	Intended Nationally Determined Contributions (Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional)
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
LEAP	Long-range Energy Alternatives Planning System (Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo)
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LIE	Ley de Industria Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
MtCO <sub>2</sub> e	Millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente
MW	Mega watts
CND	Contribuciones Nacionalmente Determinadas (antes INDC)
PIB	Producto Interno Bruto
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía
SIE	Sistema de Información Energética
TPCA	Tasa Promedio de Crecimiento Anual

# INTRODUCCIÓN

México fue el primer país en desarrollo en presentar sus Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC por sus siglas en inglés) en marzo de 2015. La meta no condicionada de México fue la de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 22% para el año 2030 frente a una línea base<sup>1</sup>. Esta mitigación equivale a 210 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e).

De forma específica, el sector de Generación de Electricidad podría contribuir con una reducción de 63 MtCO<sub>2</sub>e es decir, alrededor de una tercera parte de la meta nacional no condicionada. Para ello, la generación de electricidad con energía limpia (fuentes renovables, cogeneración eficiente con gas natural y termoeléctricas con captura de CO<sub>2</sub>) deberá alcanzar una participación de 35% en el año 2024 y de 43% hacia el año 2030.

Por otro lado, y como parte de la Reforma del sector energético en México, el 11 de agosto de 2014 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley de Industria Eléctrica (LIE). Esta Ley tiene como finalidad 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.<sup>2</sup>

Entre otras atribuciones, la LIE faculta en su Artículo 11, fracción III, a la Secretaría de Energía (SENER) para dirigir el proceso de planeación y la elaboración del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN). De esta forma, y dando continuidad al proceso de planeación iniciado un año antes, el 30 de mayo de 2016 fue publicado el PRODESEN 2016-2030, con lo que quedó establecida la planeación más reciente del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en lo que respecta a las actividades de generación, transmisión y distribución.

Finalmente, y como resultado de la publicación de la Ley de Transición Energética (LTE), el 2 de diciembre de 2016, la SENER publicó en el DOF la actualización de la primera Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios<sup>3</sup>. Esta Estrategia constituye el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo en materia de obligaciones de energías limpias y aprovechamiento sustentable de la energía. A través de las metas de energías limpias y de eficiencia energética, se busca promover que la generación de electricidad proveniente de fuentes de energías limpias alcance los niveles establecidos en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) para la industria eléctrica.

El presente reporte muestra los resultados de un análisis sobre la contribución de emisiones de GEI del sector eléctrico hacia el año 2030, considerando la planeación oficial del sector más reciente, así como una comparación respecto a las CND asumidos por México. Estos resultados tienen como finalidad promover una discusión más amplia sobre las áreas de oportunidad que existen para una mayor contribución por parte de este sector a la reducción de GEI.

1 [http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2015\\_indc\\_esp.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2015_indc_esp.pdf)

2 [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014)

3 [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5463923&fecha=02/12/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5463923&fecha=02/12/2016)

# OBJETIVOS Y METAS

El objetivo general de este reporte es presentar un análisis cuantitativo sobre la contribución de emisiones de GEI del sector eléctrico hacia el año 2030 de acuerdo a la más reciente planeación oficial del sector, así como identificar áreas de oportunidad para alcanzar – e incluso superar - las metas de reducción de emisiones establecidas para este sector en las CND de México.

Para la elaboración de este reporte se fijaron y alcanzaron las siguientes metas:

- Se realizó una revisión del componente de mitigación esperado en las CND para el sector de generación de electricidad.
- Se construyó una base de datos y un modelo del sector eléctrico correspondiente al componente oficial de planeación de la expansión del parque de generación de electricidad en México (PRODESEN 2016-2030), haciendo énfasis en los siguientes aspectos:
  - Emisiones de GEI.
  - Participación de energía limpia.
- Se elaboró un análisis de las emisiones de GEI resultante de la planeación oficial del sector eléctrico (PRODESEN 2016-2030), así como de un escenario alternativo sobre la base de un despacho por orden de mérito<sup>4</sup> y cimentado en los factores de la planta de operación convencional en México de las distintas centrales eléctricas, haciendo énfasis en los siguientes aspectos:
  - Emisiones de GEI.
  - Participación de energía limpia.
- Se obtuvieron las primeras conclusiones con base en los resultados obtenidos de la comparación entre las emisiones de GEI resultantes del PRODESEN 2016-2030 y las consideradas en el componente de mitigación del sector de generación de electricidad de las CND de México.

---

<sup>4</sup> El orden de mérito se refiere a la prioridad con la que se despachan las centrales eléctricas en el modelo y con ello se sirve a la demanda de energía eléctrica en cada instante. Este orden de prioridad responde a diferentes aspectos, como pueden ser, económicos, técnicos (tiempos de arranque y paro de las centrales eléctricas), prácticas operativas del operador del sistema eléctrico, entre otros. En este estudio, se asume el orden de mérito observado en la operación convencional del Sistema Eléctrico Nacional.

# ÁREA DE ESTUDIO

## Compromisos internacionales de mitigación ante el cambio climático 2020-2030

México asumió el compromiso internacional no condicionado para realizar acciones de mitigación que tendrán como resultado la reducción del 22% de sus emisiones de GEI hacia el año 2030, lo cual significaría una reducción de alrededor de 210 MtCO<sub>2</sub>e.

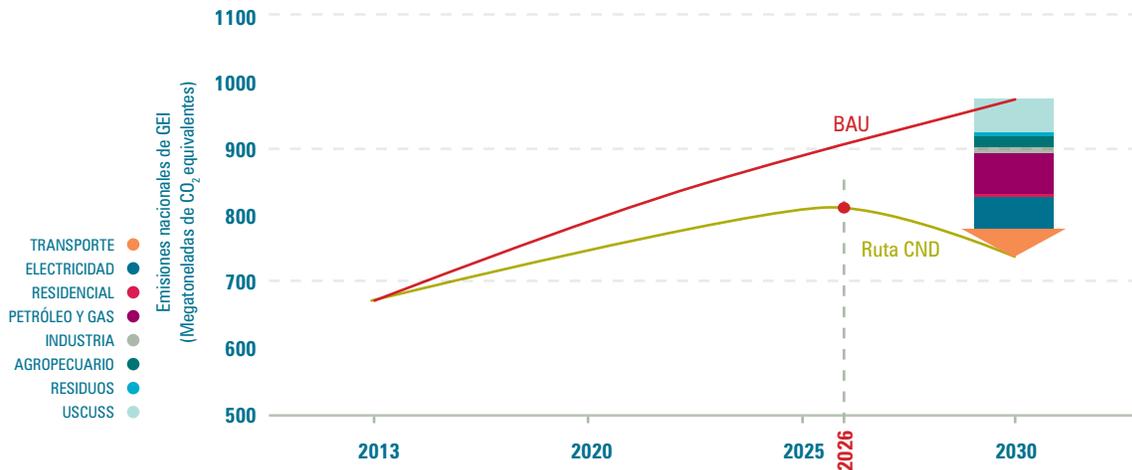
De forma específica, se espera que el sector de Generación de Electricidad pueda contribuir con una reducción de 63 MtCO<sub>2</sub>e, es decir, alrededor de una tercera parte de esta meta no condicionada (Ver CUADRO 1). Para ello, la generación de electricidad con energía limpia (fuentes renovables, cogeneración eficiente con gas natural y termoelectricas con captura de CO<sub>2</sub>) deberá alcanzar una participación de 35% en el año 2024 y de 43% hacia el año 2030.

<b>-22% GEI</b>					<b>EMISIONES de GEI (MtCO<sub>2</sub>e)</b>
					<b>Meta al 2030</b>
<b>Línea base</b>					<b>No condicionada</b>
	<b>2013</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2030</b>
TRANSPORTE	174	214	237	266	218
<b>GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD</b>	<b>127</b>	<b>143</b>	<b>181</b>	<b>202</b>	<b>139</b>
PETRÓLEO Y GAS	26	27	27	28	23
INDUSTRIA	80	123	132	137	118
AGRICULTURA Y GANADERÍA	115	125	144	165	157
RESIDUOS	80	88	90	93	86
SUBTOTAL	31	40	45	49	35
USCUSS <sup>1</sup>	633	760	856	941	776
<b>EMISIONES TOTALES</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-14</b>
	665	792	888	973	762

### CUADRO 1. LÍNEA BASE Y META DE REDUCCIÓN DE LAS CND PARA MÉXICO

FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC), 2015. COMPROMISOS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL PERIODO 2020-2030.

Asimismo, esta ruta de mitigación de las emisiones implica que paulatinamente se modificaría la tendencia actual de los incrementos de las emisiones anuales hasta alcanzar un máximo alrededor del año 2026 (Ver FIGURA 1).

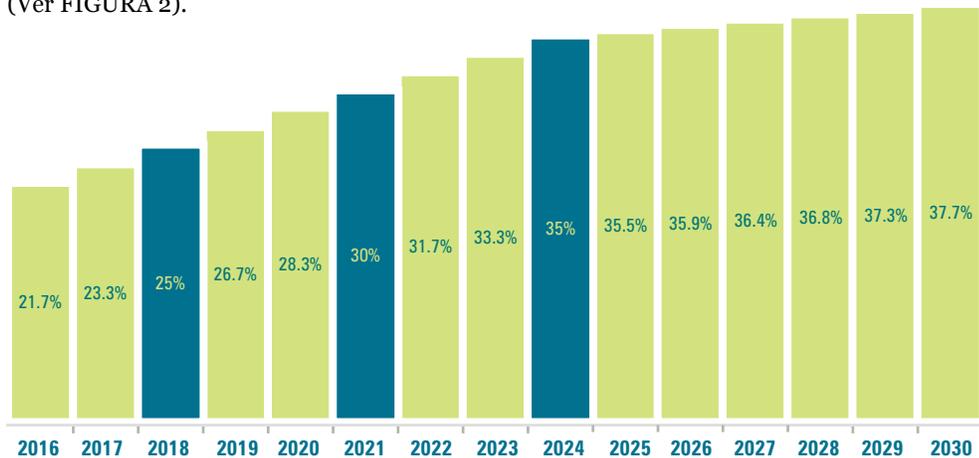


**FIGURA 1. LÍNEA BASE Y PICO DE EMISIONES PARA LAS CND EN MÉXICO**

FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC), 2015. COMPROMISOS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL PERIODO 2020-2030.

## Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2030

De acuerdo con el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN 2016-2030), en 2015 la generación de electricidad a partir de energía limpia representó 20.3% del total en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). En el periodo prospectivo, se espera que esta participación aumente en línea con las metas establecidas en la Ley de Transición Energética (LTE) en los años 2018, 2021 y 2024 hasta alcanzar 37.7% en el año 2030 (Ver FIGURA 2).



**FIGURA 2. TRAYECTORIA DE LAS METAS DE ENERGÍAS LIMPIAS 2016-2030**

FUENTE: SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER), 2016. PRODESEN 2016-2030.

Es importante destacar que el PRODESEN 2016-2030 no presenta datos sobre las emisiones de GEI resultantes de este crecimiento esperado del sector eléctrico.

## Estrategia de Transición para Promover el uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios

De acuerdo con los escenarios y metas de mediano y largo plazo contenidos en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, la participación de energía limpia en la generación de electricidad alcanzará 31.3% en el año 2020, 39.2% en 2025, y 37.7% en 2030. Posteriormente, esta participación aumentará de 40.8% en el año 2035 a 50% en el año 2050 (Ver FIGURA 3).



**FIGURA 3. TRAYECTORIA DE LAS METAS DE ENERGÍAS LIMPIAS 2020-2050**

FUENTE: DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF), 2 DE DICIEMBRE DE 2016. ACUERDO POR EL QUE LA SECRETARÍA DE ENERGÍA APRUEBA Y PUBLICA LA ACTUALIZACIÓN DE LA PRIMERA ESTRATEGIA DE TRANSICIÓN PARA PROMOVER EL USO DE TECNOLOGÍAS Y COMBUSTIBLES MÁS LIMPIOS, EN TÉRMINOS DE LA LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA.

Este crecimiento se presume que permitirá alcanzar la meta no condicionada de las CND de México para el sector de generación de electricidad de 31% en el año 2030 y de 50% respecto a los niveles observados en el año 2000, establecido en la LGCC.

# METODOLOGÍA

## Construcción del escenario base de emisiones de GEI del sector eléctrico en México

La construcción del Escenario Base o Tendencial (EB) de emisiones de GEI del sector eléctrico en México se realizó a través de dos componentes, a saber: 1) el establecimiento del año de referencia que es el año 2015 y, 2) las proyecciones hacia el año 2030. En ambos elementos se utiliza principalmente la información del Programa del Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional PRODESEN 2016-2030 (SENER, 2016a). El EB se simuló en el software LEAP (Heaps, 2008) el cual es un modelo contable de tipo bottom-up, que tiene como ventaja el recrear un equilibrio entre la demanda agregada y la oferta del parque eléctrico que se simulan, sin embargo, tiene como limitante el que no es un modelo de optimización.

El modelo LEAP es un modelo amigable para modelar el desarrollo de las políticas energéticas y la mitigación de emisiones de GEI desarrollada por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI por sus siglas en inglés). Actualmente, el modelo se utiliza al menos por 32 países, los cuales utilizaron las especificaciones y lineamientos del mismo para presentar sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas ante la CMNUCC. El modelo cuenta con la facilidad de identificar el consumo, producción y la extracción de recursos energéticos en todos los sectores de la economía. A través del modelo es posible obtener la cantidad de emisiones producidas por el sector, así como contabilizar otros contaminantes que impactan el medio ambiente, como la calidad del aire y los contaminantes climáticos de vida corta, sin embargo en este estudio solo nos enfocamos a las emisiones de GEI.

La flexibilidad del modelo LEAP, al ser un modelo estrictamente contable que empata la oferta con la demanda energética, permite simular políticas energéticas para adaptar el sistema energético bajo diferentes condiciones, asimismo la capacidad de modelación que tiene este modelo permite representar políticas públicas energéticas a mediano y largo plazo a través de drivers o parámetros de crecimiento anual. Lo anterior permite obtener diferentes escenarios, a través de los cuales es posible comparar y contrastar diversas políticas energéticas de manera eficiente y adecuada. En este sentido, la modelación a través del modelo LEAP, ofrece la posibilidad de identificar la viabilidad de las políticas energéticas actuales o su modificación para cumplir con las metas de reducción de emisiones de GEI del consumo de energía, lo cual se realiza y vislumbra en la construcción de escenarios energéticos tendenciales y alternativos como a continuación se procede.

### 1. Establecimiento del año de referencia

Se consideró como año de referencia el 2015 debido a que el PRODESEN establece ese año como inicial. Del lado de la demanda de electricidad, se consideraron los siguientes 5 sectores de consumo: residencial, comercial, transporte, industrial y agropecuario. La información de la demanda de electricidad por sector para el año 2015 se obtuvo del Sistema de Información Energética (SIE) de la SENER (SENER, 2016b), mientras que la demanda global se obtuvo del PRODESEN y se tuvo que ajustar al valor de la demanda agregada de los sectores en aproximadamente 5%.

Del lado de la oferta de electricidad, se recopiló y analizó del PRODESEN 2016-2030 la información relativa a aproximadamente 360 centrales en operación en el año 2015 mismas que fueron reportadas por tipo de tecnología en dicho documento. La información disponible para las centrales en operación fue la capacidad instalada en MW, así como

la generación de electricidad en el año 2015 en GWh y el tipo de tecnología. El consumo de energía para cada tipo de central en el año 2015 se estimó utilizando la eficiencia calculada para las centrales en operación en el año 2015 con la información mencionada del PRODESEN 2016-2013, mientras que la calibración del consumo global para las centrales eléctricas por tipo de combustible se realizó con información del SIE.

Para calcular las emisiones del año de referencia, es decir, para las centrales en operación en el año 2015, se utilizaron los factores de emisión del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 1997) por tipo de tecnología y combustible.

## **2. Proyecciones al año 2030**

Una vez que se estableció el año de referencia 2015, se hicieron proyecciones de la demanda y oferta de electricidad hacia el año 2030.

De lado de la demanda se utilizó y representó la información de la demanda global de electricidad reportada por el PRODESEN 2016-2030 y se estableció un consumo proporcional para cada uno de los sectores de demanda equiparable al año 2015 para cada año en el periodo de análisis, es decir, se consideró que no hay cambio estructural en el consumo de energía eléctrica por sector en el periodo 2016-2030.

Una vez que la demanda global de electricidad fue dispuesta de acuerdo al PRODESEN, del lado de la oferta eléctrica se simularon 2 casos, a saber:

**1. Caso PRODESEN optimizado:** denominaremos con este nombre al PRODESEN 2016-2030 de Planeación ya que se estableció usando un modelo de optimización que se describe en el PRODESEN 2016-2030. En este caso se reproduce la capacidad por tipo de tecnología, el consumo de combustible y la generación de electricidad exactamente igual que en el PRODESEN 2016-2030.

Se revisaron 1,143 registros de proyectos y/o centrales reportados en PRODESEN 2016-2030, de los cuales casi 400 fueron de nuevos proyectos que incorporaron en el periodo de análisis de acuerdo al PRODESEN y el resto fueron centrales existentes desde el año 2015 que incluye algunas centrales que se les retiró en el periodo de análisis de acuerdo al PRODESEN. Como se dijo, los valores reportados por el PRODESEN para la oferta eléctrica se les simuló en el Modelo LEAP en términos de generación de electricidad y consumo de combustible por tecnología y año de acuerdo al PRODESEN. Para lograr esta simulación, los factores de planta son estimados para cada año a partir de la información del PRODESEN y así se establecen en el modelo LEAP.

**2. Caso PRODESEN por orden de mérito:** Se denomina así al caso en donde se utiliza la información relativa a la capacidad proyectada en el PRODESEN 2016 – 2030 por año y tipo de tecnología y se aplican factores de planta de uso convencional en México por tipo de tecnología para simular la operación de la oferta eléctrica y las emisiones del sector eléctrico mexicano. Más precisamente en esta simulación de despacho de las centrales por orden de mérito los factores de planta son estimados de la siguiente manera:

Para los casos de las centrales existentes e hidroeléctricas nuevas se utiliza el factor de plantas estimado para el año de referencia 2015 por tipo de tecnología. En el caso de las centrales nuevas distintas a las centrales hidroeléctricas se utiliza el factor de planta

estándar que se calcula con información de la tabla 4.2.3 del PRODESEN. Con estos datos, el cálculo de la generación de electricidad se simuló en el Modelo LEAP considerando un despacho por orden de mérito. Finalmente, a partir de la información del consumo de combustible para cada tipo de central y con información de los factores de emisión del IPCC se estimaron las emisiones por año en el periodo de análisis.

# RESULTADOS

En esta sección se presentan los principales resultados del análisis de la contribución de emisiones de GEI, asociados a la planeación oficial del SEN en México en los próximos 15 años (PRODESEN 2016-2030).

## PRODESEN optimizado

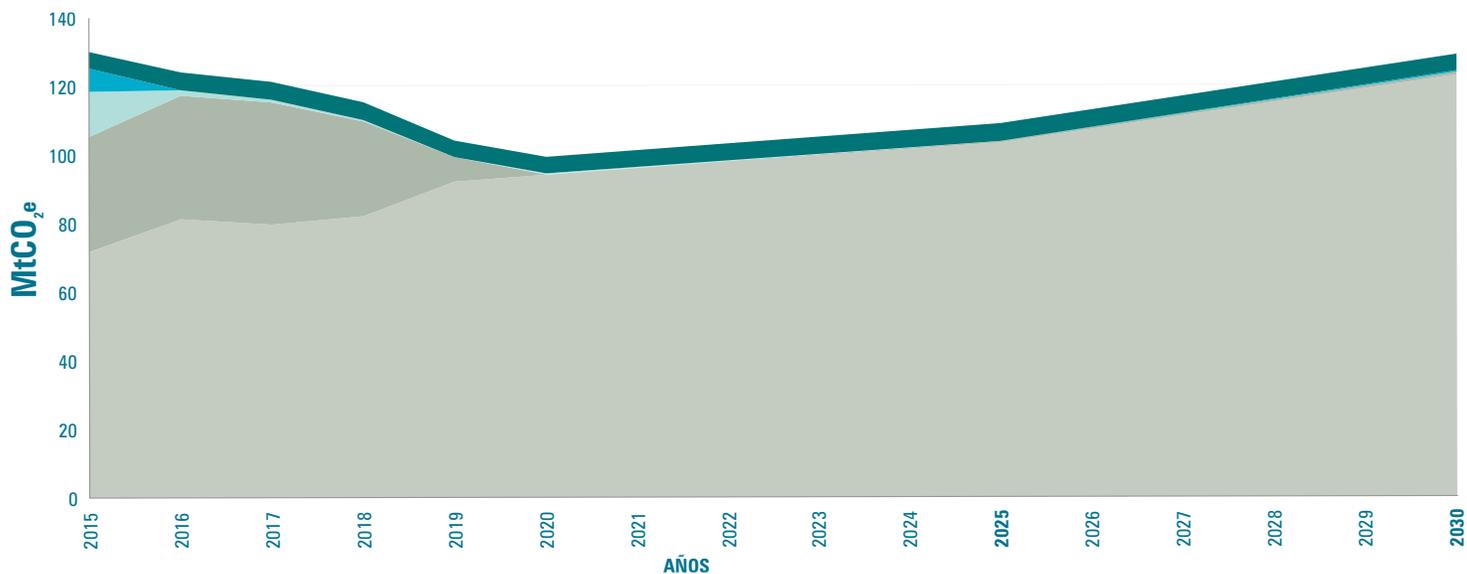
El CUADRO 2 y la FIGURA 4 presentan las emisiones de GEI del sector eléctrico en términos de CO<sub>2</sub>e hacia el año 2030. Como puede observarse, se alcanza un máximo parcial de emisiones en el año base (2015) con un total de 129 MtCO<sub>2</sub>e. Posteriormente, las emisiones continúan disminuyendo hasta alcanzar un mínimo parcial de 99 MtCO<sub>2</sub>e en el año 2021, seguida de una tendencia creciente a partir del año 2022 hasta ubicarse en 129.1 MtCO<sub>2</sub>e en el año 2030, cifra que es muy cercana al nivel de emisiones alcanzado en el año 2015.

La disminución observada en el periodo 2016–2021 se debe principalmente a la acentuada reducción en el consumo de diésel y combustóleo en centrales termoeléctricas convencionales, los cuales prácticamente dejan de ser utilizados en el mismo periodo, además del carbón, el cual sufre una reducción importante en su consumo a partir del año 2019. En contraste, el aumento en las emisiones a partir del año 2021 se debe principalmente al uso de gas natural en centrales de ciclo combinado el cual tiene una tendencia creciente importante hasta el año 2030. Finalmente, el consumo de coque de petróleo se mantiene prácticamente sin variación en el periodo de análisis.

Environmental Results: Global warming potential CO <sub>2</sub> eq								
Scenario: ESC BASE PRODESEN, GWP: All GWPs								
Branch: Transformation\Generación Eléctrica								
Units: Million Tones								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
GAS SECO	71.7	81.3	79.6	81.9	92.1	94.0	103.4	123.0
DIÉSEL	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
COQUE DE PETRÓLEO	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
COMBUSTÓLEO	13.2	1.7	0.8	0.5	0.2	0.1	0.2	0.0
CARBÓN	33.7	36.0	35.8	27.9	7.0	0.2	0.2	0.8
TOTAL	129.9	124.1	121.1	115.4	104.2	99.3	108.8	129.1

**CUADRO 2. EMISIONES DE GEI CORRESPONDIENTES A LA EXPANSIÓN DEL SEN EN PRODESEN 2016-2030 (OPTIMIZADO)**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



**FIGURA 4. EMISIONES DE GEI CORRESPONDIENTES A LA EXPANSIÓN DEL SEN EN PRODESEN 2016-2030 (OPTIMIZADO)**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

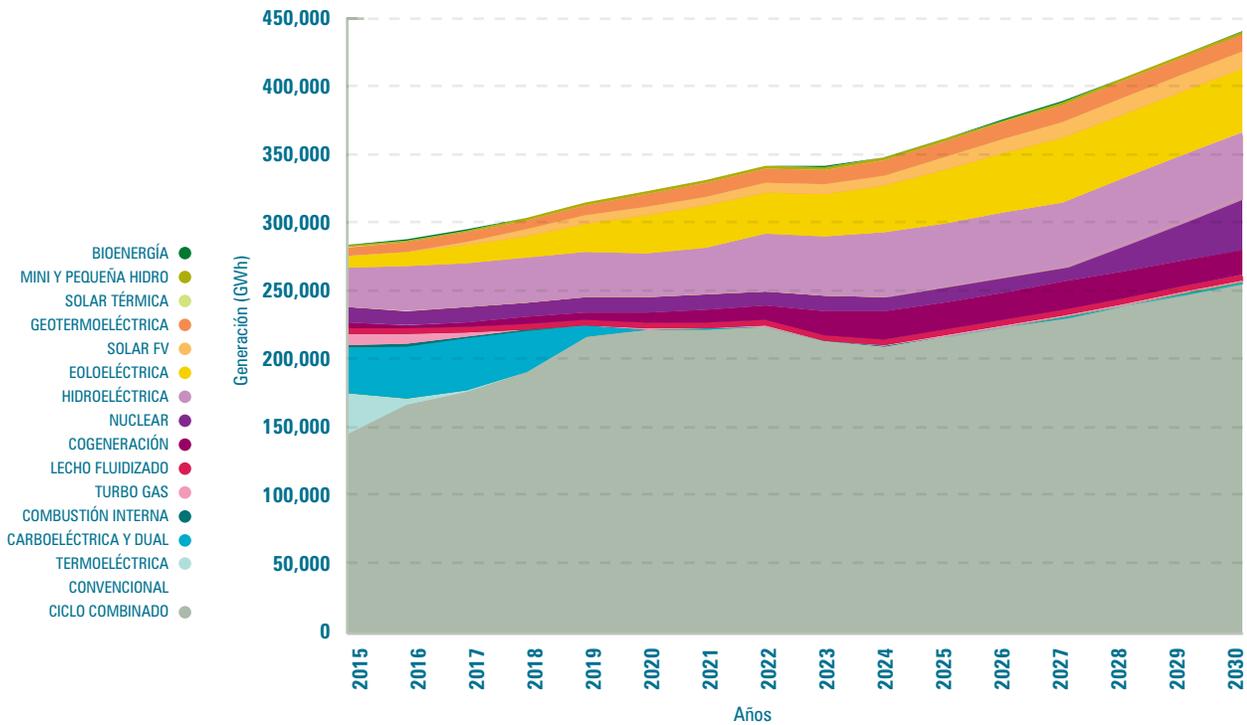
- COQUE DE PETRÓLEO
- DIÉSEL
- COMBUSTÓLEO
- CARBÓN
- GAS SECO

En lo que respecta a la participación de la energía limpia en la generación de electricidad, y como se muestra en el CUADRO 3 y en la FIGURA 5, el comportamiento observado en las emisiones de GEI asociadas al escenario del PRODESEN (optimizado) permiten el cumplimiento de metas de energía limpia establecidas en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Las energías renovables presentan una tendencia al alza en el periodo 2016 – 2025, impulsadas principalmente por el crecimiento de la energía eólica, la solar y las grandes hidroeléctricas. Posteriormente, en términos porcentuales reducirían su participación hasta ubicarse en dos puntos menos en el año 2030. En contraste, la cogeneración y la energía nuclear muestran una lenta tendencia creciente hasta el año 2022 seguido de una tendencia creciente con aumentos porcentuales de contribución importantes hacia los años 2023 y 2028, respectivamente.

Tipo de Central	2015	2018	2021	2024	2025	2030
RENOVABLES	16.2%	20.3%	25.4%	29.4%	30.1%	27.7%
COGENERACIÓN Y NUCLEAR	5.4%	5.2%	6.2%	9.0%	8.6%	12.9%
LIMPIAS	21.6%	25.5%	31.4%	38.4%	38.8%	40.5%
OTRAS	78.4%	74.5%	68.4%	61.6%	61.2%	59.5%
TOTAL	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

**CUADRO 3. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE ENERGÍA LIMPIA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN PRODESEN 2016-2030 (OPTIMIZADO)**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



**FIGURA 5. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE ENERGÍA LIMPIA EN PRODESEN 2016-2030 (OPTIMIZADO)**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

## PRODESEN por orden de mérito

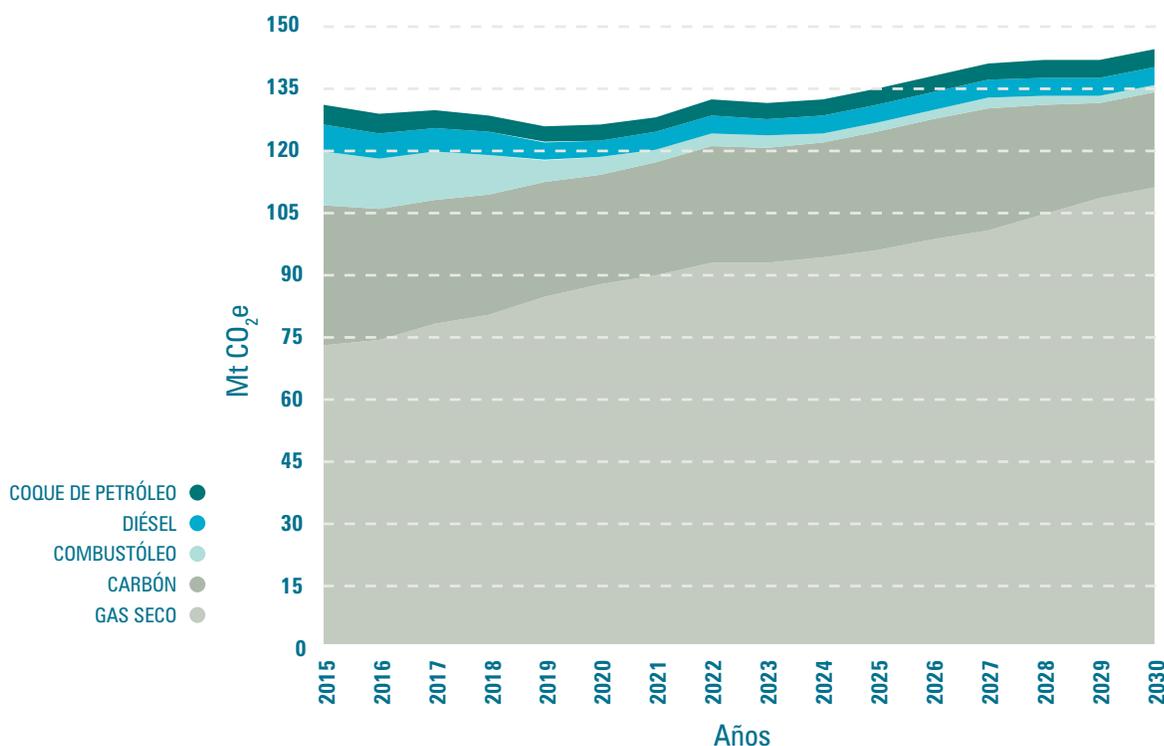
Como se puede observar en el CUADRO 4 y en la FIGURA 6, bajo un despacho por orden de mérito se tiene una tendencia ligeramente decreciente de emisiones durante los primeros 4 años, alcanzando un mínimo de 124.68 MtCO<sub>2</sub>e en el año 2019, y que es 3.5% menor al nivel observado en el año de referencia (2015). Posteriormente, se observa una tendencia ascendente hasta alcanzar 143.27 MtCO<sub>2</sub>e en el año 2030, cifra que es 10.85 % más que el nivel de emisiones observado en el año 2015. Este comportamiento en las emisiones de GEI se debe principalmente a una disminución importante en el uso de combustóleo y carbón en las centrales termoeléctricas convencionales en el periodo 2016 - 2019, reducción que es incluso mayor a las emisiones resultantes de las nuevas adiciones de capacidad en centrales que utilizan gas natural en el mismo periodo.

Por el contrario, las emisiones asociadas al uso de gas natural, muestran una tendencia creciente en todo el periodo prospectivo, con un aumento a partir del año 2020 el cual es superior a las reducciones que se obtendrían por la disminución en el uso de combustóleo y carbón. Las emisiones asociadas al uso de este combustible aumentarían en alrededor de 53%, respecto a los niveles registrados en el año base. Finalmente, las emisiones derivadas del uso de diésel se reducen suavemente en el periodo 2016 – 2030 respecto a sus emisiones en el año de referencia, mientras que las emisiones de coque de petróleo permanecen prácticamente constantes en el periodo prospectivo. En el caso del carbón, esto representaría una reducción de alrededor de una tercera parte de las emisiones registradas en el año base mientras que las emisiones del combustóleo se reducen drásticamente.

Environmental Results: Global warming potential CO <sub>2</sub> eq								
Scenario: ESC BASE PRODESEN, GWP: All GWPs								
Branch: Transformation\Generación Eléctrica\Processes								
Units: Billion Kilogrammes								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
GAS SECO	71.7	73.3	77.2	79.2	83.7	86.7	95.0	109.7
DIÉSEL	6.6	6.0	5.6	5.4	4.3	4.1	4.2	4.5
COQUE DE PETRÓLEO	4.8	4.4	4.2	4.1	3.8	3.6	3.9	4.3
COMBUSTÓLEO	13.2	12.3	12.0	9.8	5.2	4.2	2.3	1.7
CARBÓN	33.7	31.4	29.5	28.8	27.6	26.2	28.3	23.1
TOTAL	129.9	127.4	128.4	127.2	124.7	124.8	133.6	143.3

**CUADRO 4. EMISIONES DE GEI CORRESPONDIENTES A LA EXPANSIÓN DEL SEN EN PRODESEN 2016-2030 (ORDEN DE MÉRITO)**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



**FIGURA 6. EMISIONES DE GEI CORRESPONDIENTES A LA EXPANSIÓN DEL SEN EN PRODESEN 2016-2030 (ORDEN DE MÉRITO)**

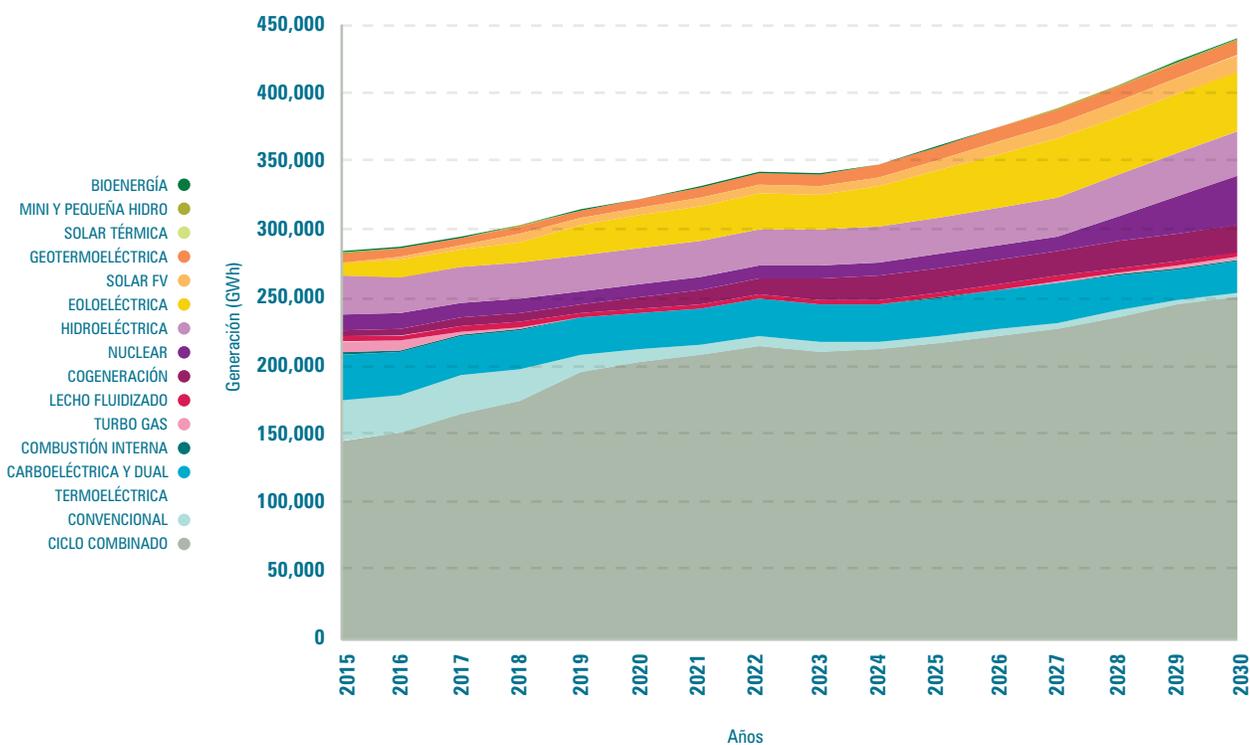
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por otro lado, y como se muestra en el CUADRO 5 y en la FIGURA 7, el escenario del PRODESEN simulado por orden de mérito implica un aplazamiento de entre 3 - 5 años en las metas de generación de electricidad con energía limpia establecidas en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. De esta forma, la participación de energías limpias alcanza 25% en el año 2020, 30% en 2025 y 35% en 2029. Esto se debe a un mayor despacho de las centrales termoeléctricas convencionales y las carboeléctricas, respecto al PRODESEN (optimizado). En cuanto a la generación con energías limpias, este escenario favorece una mayor utilización de las centras hidroeléctricas y la cogeneración eficiente, respecto al PRODESEN (optimizado).

Tipo de Central	2015	2018	2021	2024	2025	2030
RENOVABLES	16.2%	17.8%	19.8%	20.6%	21.9%	22.9%
COGENERACIÓN Y NUCLEAR	5.4%	5.6%	6.1%	7.9%	7.8%	12.7%
LIMPIAS	21.6%	23.4%	25.9%	28.6%	29.7%	35.5%
OTRAS	78.4%	76.6%	74.1%	71.4%	70.3%	64.5%
TOTAL	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

**CUADRO 5. PARTICIPACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN PRODESEN 2016-2030 (ORDEN DE MÉRITO)**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



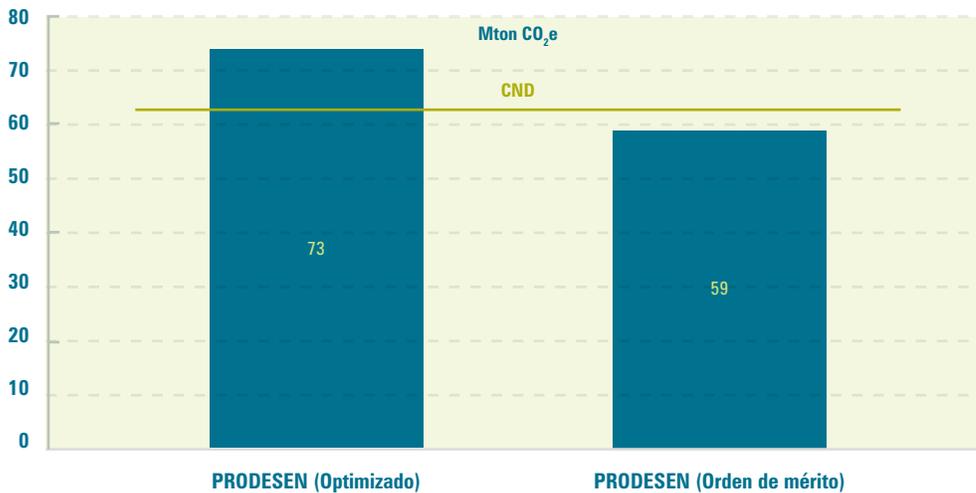
**FIGURA 7. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE ENERGÍA LIMPIA EN PRODESEN 2016-2030 (ORDEN DE MÉRITO)**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

# CONCLUSIONES

Como se muestra en la FIGURA 8 y en la FIGURA 9, el análisis cuantitativo realizado al PRODESEN (optimizado) es un escenario que da cumplimiento e incluso supera la meta de reducción de emisiones para el sector de generación de electricidad establecida en las CND de México, así como la meta de participación de energías limpias, establecida en la Estrategia de Transición para promover el uso de Tecnologías y Combustibles más limpios. Esto sugiere una pretensión en la planeación oficial del sector eléctrico de alinearse con las metas establecidas en las CND para este sector.

No obstante, el comportamiento de este escenario oficial de planeación en términos de emisiones, como la reducción acentuada de emisiones en el sector eléctrico a partir del año 2015 y la salida de operación de prácticamente todas las centrales térmicas convencionales y las carboeléctricas, hacia los años 2019 y 2020, respectivamente, sugieren que a la fecha no existe suficiente evidencia que tal comportamiento del sector eléctrico en México en términos de emisiones y del parque de generación eléctrica esté ocurriendo. Tampoco hay evidencia sobre la progresión de la energía limpia conforme a este escenario de planeación oficial<sup>5</sup>.

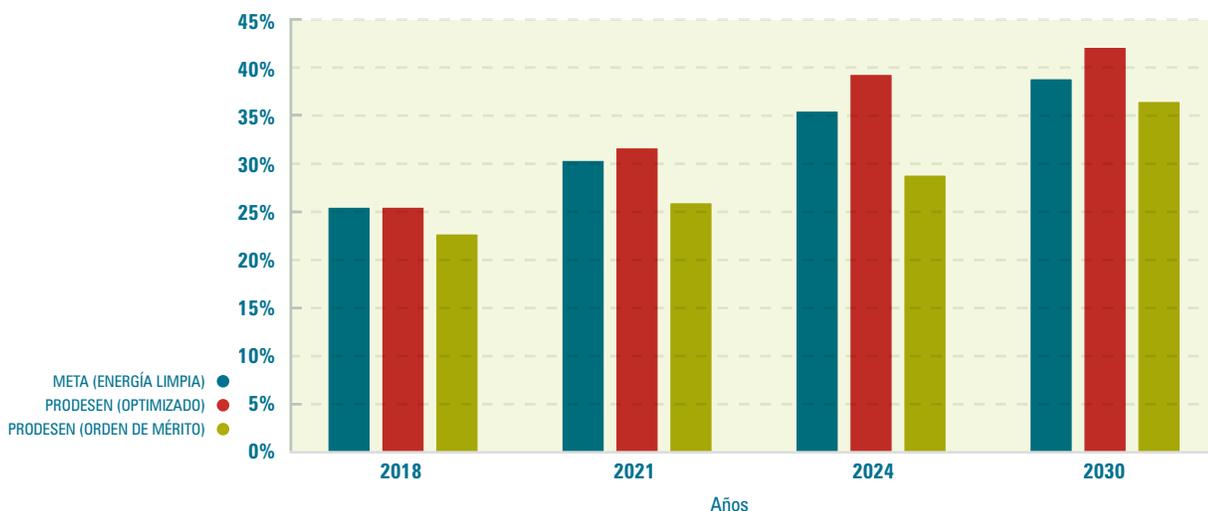


**FIGURA 8. COMPARATIVO META DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE LAS CND AL AÑO 2030 VS. PRODESEN**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El análisis del PRODESEN (por orden de mérito) realizado en este estudio, muestra que en una operación más convencional del funcionamiento del parque eléctrico en la evolución esperada de ese sector en México, las emisiones de la generación de energía quedan por debajo de las CND del sector eléctrico establecido para el año 2030, además que hay un aplazamiento de entre 3 y 5 años de las metas de participación de energías limpias, establecidas en la Estrategia de Transición.

<sup>5</sup> De acuerdo con las ediciones 2015 y 2016 (cifras al primer semestre) del Informe de Participación de Energías Limpias, elaborado por la SENER, la generación de energía eléctrica con estas fuentes de energía ha presentado una disminución respecto a los años 2014 y 2015, respectivamente. Más información en: <http://www.gob.mx/sener/documentos/informe-sobre-la-participacion-de-las-energias-renovables-en-la-generacion-de-electricidad-en-mexico-al-30-de-junio>



**FIGURA 9. COMPARATIVO META DE PARTICIPACIÓN DE ENERGÍAS LIMPIAS VS. PRODESEN**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Finalmente, es importante resaltar el hecho de que la demanda de energía eléctrica, reportada en el PRODESEN tiene una tasa promedio de crecimiento anual (TPCA) de 3.4% y el PIB del 4.1% para el periodo 2016-2030. Si se analiza el comportamiento histórico de la demanda de esa energía a nivel nacional, un crecimiento similar de la demanda eléctrica al planteado por el PRODESEN se dio entre los años 2000-2015 con una TPCA de 3.2%, esto para un crecimiento del PIB de solamente 2.9%. Este escenario sugiere que la TPCA de demanda del PRODESEN parece subestimada en relación al crecimiento del PIB que se menciona en el PRODESEN o bien corresponde a supuestos sobre la demanda eléctrica que no encontramos de manera explícita en el documento del PRODESEN.

Por todo lo expresado con anterioridad, se recomienda promover un acercamiento con los encargados de elaborar las siguientes ediciones del PRODESEN, en donde pueda analizarse más a detalle y representar sobre una base más sólida los principales supuestos de los escenarios esperados del sector eléctrico en México en los próximos años y su contribución a la reducción de emisiones de GEI.

Esto podría lograrse mediante la inclusión de un apartado específico en el PRODESEN, en el que se realice un análisis cuantitativo de las emisiones asociadas al escenario del sector eléctrico nacional. Asimismo, también se sugiere realizar otros estudios en donde se puedan explorar escenarios adicionales del sector eléctrico con la intención de incorporar otras medidas de mitigación que permitan una mayor reducción de emisiones de GEI a las planteadas en la planeación oficial.

# ANEXO 1

La siguiente figura muestra la expansión de la capacidad instalada por tipo de tecnología de acuerdo al PRODESEN 2016-2030. Los dos casos analizados en este estudio (PRODESEN optimizado y PRODESEN por orden de mérito) tienen esta misma expansión de la capacidad eléctrica pero la generación de energía la realizan con diferentes factores de planta para cada central. En el caso optimizado las centrales eléctricas funcionan con los factores de planta del PRODESEN optimizado mientras que en el otro caso, PRODESEN por orden de mérito, los factores de planta son los de un despacho que funciona con un orden de mérito convencional. Con base en esto, podemos reproducir no solamente la capacidad por tipo de tecnología, sino también la generación de electricidad, el consumo de combustible y las emisiones del GEI PRODESEN 2016-2030 (caso que llamamos PRODESEN OPTIMIZADO en este estudio). De igual manera para el caso de PRODESEN por orden de mérito podemos conocer, además de la capacidad, la generación de electricidad, el consumo de combustibles y las emisiones de GEI. En la gráfica se puede observar el crecimiento de la capacidad instalada por tecnología hasta el 2030. Se observa que el mayor crecimiento se da en la capacidad eólica e hidroeléctrica por lo que su participación al final del periodo se incrementa de manera importante. Asimismo, se prevé un crecimiento de la capacidad instalada de la tecnología solar la cual de acuerdo al escenario planteado por el PRODESEN 2016-2030 representa aproximadamente el 10% del total de la capacidad instalada prevista al final del periodo.

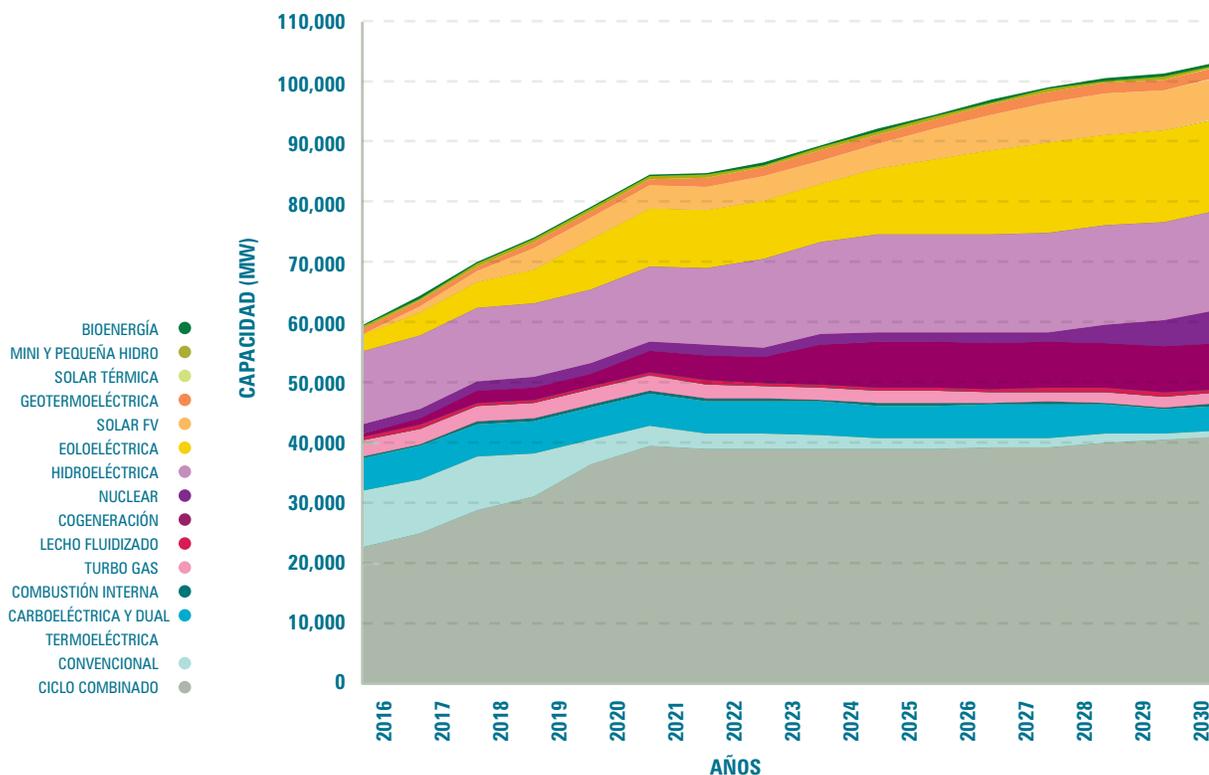


FIGURA 10. EXPANSIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA EN PRODESEN 2016-2030

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

# ANEXO 2

## CASO PRODESEN OPTIMIZADO

### EMISIONES DE GEI POR TIPO DE COMBUSTIBLE (MTCO<sub>2</sub>E)

COMBUSTIBLE	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
GAS SECO	72	81	80	82	92	94	94	96	99	101	103	106	109	111	113	123
DIÉSEL	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	0	0	0
COQUE DE PETRÓLEO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
COMBUSTÓLEO	13	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	-	-
CARBÓN	34	36	36	28	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>130</b>	<b>124</b>	<b>121</b>	<b>115</b>	<b>104</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>101</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>109</b>	<b>112</b>	<b>117</b>	<b>116</b>	<b>119</b>	<b>129</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

## CASO PRODESEN POR ORDEN DE MÉRITO

### GENERACIÓN POR TIPO DE TECNOLOGÍA (GWH)

TIPODECENTRAL	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CICLO COMBINADO	146,639	152,124	166,029	176,246	197,439	204,236	209,591	215,927	212,400	214,257	218,580	223,619	228,636	237,488	247,014	252,999
TERMOELÉCTRICA CONVENCIONAL	29,883	28,602	28,602	23,206	12,663	10,179	7,535	7,535	7,176	5,196	5,196	5,196	5,196	5,196	3,135	3,135
CARBOELÉCTRICA DUAL	33,599	31,227	29,331	28,659	27,445	26,063	27,038	27,855	27,400	27,640	28,197	28,798	29,350	26,100	22,821	22,994
COMBUSTIÓN INTERNA	1,787	1,226	558	566	159	-	-	279	-	158	260	260	363	496	799	799
TURBOGAS	8,104	7,036	2,968	1,945	-	-	-	105	-	-	241	505	790	1,335	1,865	2,208
LECHO FLUIDIZADO	4,286	3,984	3,742	3,656	3,425	3,252	3,374	3,476	3,419	3,449	3,519	3,594	3,663	3,732	3,821	3,850
NUCLEAR	11,577	11,459	10,763	10,516	9,851	9,355	9,705	9,998	9,835	9,921	10,121	10,337	10,535	18,828	27,560	36,117
HIDROELÉCTRICA	29,303	26,508	26,508	26,718	26,508	26,508	26,508	26,658	26,508	26,508	27,075	27,912	28,703	30,218	31,692	32,644
GEO TERMOELÉCTRICA	6,331	5,975	5,625	5,578	5,383	6,392	8,119	8,763	8,941	9,265	9,611	10,159	10,754	10,958	11,218	11,304
EOLOELÉCTRICA	8,745	13,453	12,766	15,425	22,204	24,606	25,526	26,298	25,868	29,477	34,640	39,154	43,322	43,034	43,731	44,179
SOLAR FV	78	1,819	2,602	5,897	5,524	5,344	5,695	6,024	6,079	6,287	7,720	9,330	10,828	11,202	11,639	11,901
SOLAR TÉRMICA	-	25	24	23	22	20	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24
MINI Y PEQUEÑA HIDRO	1,560	910	426	371	104	-	-	195	-	118	195	195	271	371	598	598
BIOENERGÍA	432	401	377	368	345	328	340	350	502	665	678	692	706	719	736	742
COGENERACIÓN	3,787	4,778	6,647	6,495	6,132	8,880	10,716	11,109	15,598	17,947	18,309	18,699	19,058	19,420	19,880	20,031
<b>TOTAL</b>	<b>286,112</b>	<b>289,525</b>	<b>296,969</b>	<b>305,670</b>	<b>317,203</b>	<b>325,163</b>	<b>334,169</b>	<b>344,595</b>	<b>343,747</b>	<b>350,909</b>	<b>364,365</b>	<b>378,473</b>	<b>392,197</b>	<b>409,120</b>	<b>426,532</b>	<b>443,524</b>

EMISIONES DE GEI POR TIPO DE COMBUSTIBLE (MTCO<sub>2</sub>E)

COMBUSTIBLE	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
Gas seco	71.7	81.3	79.6	81.9	92.1	94.0	103.4	123.0
Diésel	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Coque de petróleo	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Combustóleo	13.2	1.7	0.8	0.5	0.1	0.1	0.2	0.0
Carbón	33.7	36.0	35.8	27.9	7.0	0.2	0.2	0.8
<b>TOTAL</b>	<b>129.9</b>	<b>124.1</b>	<b>121.1</b>	<b>115.4</b>	<b>104.2</b>	<b>99.3</b>	<b>108.8</b>	<b>129.1</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

# LITERATURA

Diario Oficial de la Federación (DOF), 11 de agosto de 2014. DECRETO por el que se expiden la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Energía Geotérmica y se adicionan y reforman diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. México.

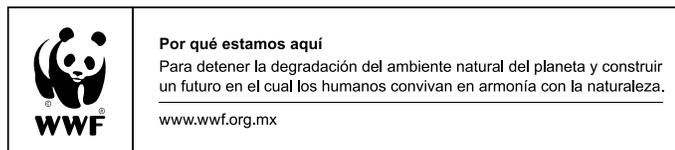
Diario Oficial de la Federación (DOF), 2 de diciembre de 2016. ACUERDO por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la primera Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, en términos de la Ley de Transición Energética. México.

Heaps, C. 2008. Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. [Software version 2008.0.0.33], Stockholm Environment Institute, EUA. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Volume 1, Volume2, Volume3), IPCC.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el Periodo 2020-2030.

Secretaría de Energía (SENER), 2016a. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016 – 2030. México.

Secretaría de Energía (SENER), 2016b. Sistema de Información Energética SIE-SENER. [En línea] Disponible en: <http://sie.energia.gob.mx/> [Consultado el 17 de noviembre de 2016].



© 1986. Logotipo del Panda de WWF World Wide Fund for Nature (Inicialmente World Wildlife Fund)  
© WWF es una Marca Registrada de WWF. Copyright © 2010 WWF. Todos los derechos reservados  
WWF México, Ave. México #51, Col. Hipódromo, México, D.F., C.P. 06100 — Tel. 5286-5631.  
Para más información visite [www.wwf.org.mx](http://www.wwf.org.mx)