



**LXVI  
LEGISLATURA**



## Investigación

Septiembre de 2024

# **Análisis de la evolución de las energías renovables en México, 2013-2023 y perspectivas a 2037**

## Índice

Resumen.....	3
Presentación .....	4
Introducción.....	5
1. Antecedentes: la rectoría del Estado en el sector energético .....	7
1.1 Sector eléctrico nacional .....	8
1.1.1 Modelo organizacional.....	8
1.1.2 Infraestructura .....	17
1.1.3 Capacidad instalada .....	18
1.1.4 Generación de electricidad .....	20
1.2 Sector de hidrocarburos .....	24
1.2.1 Infraestructura.....	24
2. Políticas y legislación energética .....	26
2.1 Leyes, regulaciones y organismos vigentes en materia energética.....	26
2.2 Reforma energética de 2013 y su impacto.....	30
3. Compromisos internacionales y cambio climático.....	34
3.1 Protocolo de Kioto y los compromisos adquiridos por México.....	35
3.2. Acuerdo de París.....	36
4. Desafíos en la transición energética .....	41
4.1 Barreras regulatorias y financieras .....	41
4.2 Integración de energías intermitentes en la red eléctrica .....	43
5. Perspectivas de las energías renovables a 2037.....	45
5.1 Evolución y capacidad Instalada a corto plazo (2023-2026) .....	45
5.2 Evolución y capacidad Instalada a largo plazo (2027-2037) .....	47
5.3 Ahorro y uso eficiente de energía.....	49
5.3.1 Impacto de la movilidad eléctrica en las emisiones totales de CO2.....	50
5.3.2 Análisis del impacto del uso de energías limpias en el sector eléctrico sobre las emisiones de CO2 per cápita .....	54
6. Conclusiones.....	56
Anexo 1: modelo logístico.....	58
Fuentes de Información .....	61

## Resumen

La transición hacia energías renovables en México es un tema de suma importancia debido a sus profundas implicaciones, tanto ambientales como económicas. Aunque el país cuenta con un vasto potencial en recursos renovables, incluyendo la energía solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, aún enfrenta desafíos significativos en su implementación efectiva y sostenibilidad a largo plazo. Este estudio se enfoca en analizar el estado actual de las energías renovables, identificando los principales obstáculos y las oportunidades para su desarrollo y expansión.

En el ámbito internacional, México validó su compromiso con la reducción de emisiones mediante la firma en el Acuerdo de París sobre Cambio Climático, en abril de 2016, y su ratificación en septiembre del mismo año, donde se establecieron metas concretas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas acciones reflejan no solo un compromiso con la sostenibilidad ambiental a nivel global, sino también un impulso significativo para el desarrollo de tecnologías y proyectos de energías limpias dentro del país.

A pesar de los avances logrados, aún persisten desafíos para la consolidación de un sistema energético más limpio y sustentable, que esté alineado con los compromisos internacionales. La legislación y las políticas en esta materia, como la Ley de la Industria Eléctrica y la Ley de Transición Energética, son pilares fundamentales en este proceso. Sin embargo, las discusiones en torno a las políticas públicas derivadas de la reforma del sector energético destacan que el camino hacia la transición continúa en constante evolución, por lo que es necesario mantener un equilibrio entre el crecimiento económico, la seguridad en el suministro de energía y la protección del medio ambiente para garantizar un futuro sostenible.

## Presentación

Durante las Legislaturas LXIV y LXV, la Secretaría General de la Cámara de Diputados ha impulsado el proyecto del Servicio Profesional de Carrera, con el propósito de avanzar en la profesionalización, superación continua y estabilidad de su personal, proceso que a su vez permitirá que las labores de apoyo, respaldo y asesoría a las y los legisladores se cumplan con una creciente capacidad técnica, y con mayores niveles de eficiencia y productividad.

La Secretaría General ha conducido el interés de las y los diputados de proyectar el trabajo legislativo hacia una relación más estrecha con sus electores, mediante una mayor difusión de los documentos e investigaciones que nutren su quehacer cotidiano.

Como parte de esta nueva etapa se ha iniciado el desarrollo de diversas investigaciones en temas de relevancia para la agenda nacional, y de las cuales forma parte la que aquí se presenta, con el título de "Análisis de la evolución de las energías renovables en México, 2013-2023 y perspectivas a 2037"; con lo que el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas cumple con su función de aportar elementos de análisis en materia de finanzas públicas y economía, para coadyuvar en el desarrollo de las tareas legislativas y la toma de decisiones de las Comisiones, Grupos Parlamentarios y legisladores.

Igualmente, se persigue que la labor de investigación que realiza este Centro de Estudios se torne en una tarea institucional que vincule el trabajo legislativo y las prioridades de la nación. Así, se espera que este documento cumpla sus objetivos a cabalidad, siendo útil para sus lectores y para el quehacer parlamentario con miras a que este logre mejores resultados en la búsqueda del bienestar de nuestra sociedad.

## Introducción

La transición energética implica el cambio de fuentes no renovables como el petróleo y el carbón a fuentes renovables como la solar y la eólica, con el fin de reducir el impacto ambiental y fomentar un desarrollo sostenible. Este proceso multifacético, que abarca aspectos económicos, tecnológicos y ambientales, se examinan en esta investigación en el contexto de la reforma energética de 2013, la cual se planteó como una base para impulsar una transformación en el sector. La reforma promovió la integración de energías renovables en la matriz energética y orientó a la economía hacia una menor dependencia de los combustibles fósiles.

Asimismo, se profundiza cómo México ha adoptado un rol proactivo en el contexto internacional de las energías renovables tras su compromiso en el Acuerdo de París, firmado durante la Conferencia sobre el Cambio Climático (COP21) en París, Francia, y ratificado en septiembre de 2016. Este Acuerdo, que sucede al Protocolo de Kioto, situó a México en la vanguardia de la búsqueda de un desarrollo energético sostenible. Analizando la competitividad económica, los progresos tecnológicos y los retos pendientes, esta investigación evalúa los marcos regulatorios que se han establecido para impulsar las energías limpias. A su vez, se examina cómo estas políticas están alineadas con los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático y el papel que juegan en la consecución de los compromisos internacionales, especialmente, en vista del avance logrado, desde la adhesión al Acuerdo de París hasta el momento actual.

La presente investigación se estructura en seis capítulos. El primero comienza con un análisis de los antecedentes del sector energético, detallando la evolución del sector eléctrico y de hidrocarburos, así como el papel central del Estado a través de la CFE y PEMEX, y los cambios significativos introducidos por la reforma energética de 2013, que permitió la participación privada en estos sectores.

En el capítulo dos se presenta un panorama del marco regulatorio vigente, destacando las leyes clave como la Ley de Transición Energética y la Ley de

---

la Industria Eléctrica, y el impacto que ha tenido la reforma de 2013 en el sector y en la diversificación de la matriz energética.

El tercer capítulo se enfoca en los compromisos internacionales de México en la lucha contra el cambio climático, con especial énfasis en su participación en el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, y las políticas implementadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Posteriormente, en el cuarto capítulo, se examinan los desafíos que enfrenta la transición energética, con énfasis en las barreras regulatorias, financieras y técnicas para la integración de energías renovables, especialmente las intermitentes como la solar y la eólica.

El capítulo cinco muestra las perspectivas de las energías renovables hacia 2037, subrayando la importancia de la investigación, el financiamiento y la mejora de la infraestructura para alcanzar los objetivos de generación limpia. Además, se desarrolla un modelo econométrico para evaluar el impacto de la movilidad eléctrica en la reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ), proporcionando una herramienta para anticipar y diseñar políticas efectivas en el sector.

Finalmente, se presentan las conclusiones, resaltando los avances y desafíos en la transición energética, la necesidad de una mejor coordinación interinstitucional y la implementación de políticas efectivas para asegurar un futuro energético sostenible en México.

## **1. Antecedentes: la rectoría del Estado en el sector energético**

El sector eléctrico ha experimentado una transformación significativa a lo largo del tiempo. Desde la instalación de la primera planta termoeléctrica en 1879 hasta la creación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en 1949, el Estado ha asumido un papel central en la provisión de servicios eléctricos. El monopolio estatal se justificó por la necesidad de garantizar el servicio a todas las regiones, incluidas las áreas rurales. Con la reforma eléctrica de 2013, se introdujeron cambios fundamentales, permitiendo la participación privada en la generación y comercialización de electricidad y reestructurando la CFE para mejorar la eficiencia y la sustentabilidad del sector.

Paralelamente, los hidrocarburos han sido un pilar de la economía mexicana. La Constitución de 1917 estableció la propiedad de la nación sobre las tierras y recursos naturales dentro del territorio, incluyendo el petróleo y otros hidrocarburos. Este dominio se afirmó con la nacionalización de la industria petrolera en 1938 y la creación de Petróleos Mexicanos (PEMEX). A lo largo de los años, PEMEX se convirtió en un actor dominante en la explotación de hidrocarburos, bajo la estrecha supervisión y regulación del Estado.

La reforma de 2013 también abrió el sector de los hidrocarburos a la inversión privada, aunque mantuvo la rectoría del Estado sobre los recursos del subsuelo. Se creó a la Comisión Nacional de Hidrocarburos como un órgano regulador, separando las funciones de regulación.

La transición energética busca ahora integrar estas dos vertientes: la reforma del sector eléctrico y la modernización del sector hidrocarburos, con el fin de cumplir con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética. Esta transición incluye el desafío de incorporar energías renovables en una matriz energética históricamente dependiente de los hidrocarburos, alineando las políticas energéticas con los compromisos internacionales de reducción de emisiones y los esfuerzos globales para combatir el cambio climático.

## **1.1 Sector eléctrico nacional**

El sector eléctrico es un pilar fundamental de la infraestructura económica de México, caracterizado por un desarrollo constante y adaptable. Comprender el modelo organizacional de este sector es esencial para analizar su funcionamiento y evolución.

### **1.1.1 Modelo organizacional**

El Sector Eléctrico Mexicano (SEM) ha experimentado múltiples transformaciones en su estructura organizacional a lo largo de su historia, distinguiéndose varias etapas en su evolución:

- 1. Modelo de libre competencia:** Durante el último cuarto del siglo XIX y hasta la creación de la CFE en 1937, esta fase estuvo marcada por las primeras inversiones en electricidad. Inicialmente dominada por empresas privadas, principalmente extranjeras, estas compañías llegaron a representar hasta el 70 por ciento de la capacidad instalada del país hacia la década de 1930. Sin embargo, la etapa también estuvo caracterizada por deficiencias significativas, como la



limitada cobertura del servicio y la disparidad en los voltajes y frecuencias, lo que resultó en un servicio de baja calidad y tarifas elevadas. Estos problemas contribuyeron a la posterior nacionalización de la industria eléctrica.

**2. Modelo verticalmente integrado:** La segunda etapa corresponde a la expansión de CFE, que incluye su nacionalización en 1960 y la unificación e interconexión del sistema en 1976 hasta conformar un sector integrado que perduró hasta las reformas de 1992 a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE). Además, la organización industrial eléctrica predominante en el mundo era el monopolio natural verticalmente integrado, de economía externa<sup>1</sup>, y las características de bien público de los servicios eléctricos. Este tipo de estructura de monopolio natural permitió el desarrollo de la infraestructura necesaria para la integración, expansión y operación de la industria eléctrica, y garantizar una cobertura a nivel nacional, que requería de inversiones elevadas con periodos de maduración de largo plazo que difícilmente hubiese podido efectuar la iniciativa privada.

Entre las características destacadas de este modelo se encuentra la planificación centralizada, en la que el Estado no solo determina las políticas y los planes de expansión del sector eléctrico, sino que también establece las tarifas eléctricas a través de un órgano regulador o una Secretaría especializada. Este enfoque fue adoptado por el modelo eléctrico mexicano. Durante esta fase, la CFE se

---

<sup>1</sup> Situación en que la producción o el consumo de un bien por un actor económico produce un aumento de satisfacción a otro sin que este tenga que compartir el coste.

consolidó como la única empresa responsable de todas las etapas del proceso de los sistemas eléctricos: generación, transmisión, distribución y comercialización. Esta integración vertical permitió que una sola entidad controlara todos los aspectos de la producción y operación, característica esencial de un monopolio natural.

**3. Modelo de comprador único (1992-2013):** La reforma del marco jurídico en 1992 presentó un cambio significativo al permitir la entrada del sector privado en la generación de electricidad. Sin embargo, se estableció que la energía producida por el sector privado solo podía destinarse a autoconsumo, exportación, o la venta de excedentes a la CFE. Esto aseguraba que la energía generada por particulares no se utilizara para el servicio público, manteniendo a la CFE como el organismo exclusivo encargado de la prestación del servicio público de energía eléctrica.

Desde entonces, se desarrollaron distintos esquemas en la industria eléctrica, como los Productores Independientes de Energía (PIE) y los productores para autoconsumo (AC), entre otros. Estos cambios reestructuraron la industria eléctrica nacional, permitiendo la participación privada en la generación de electricidad. No obstante, la CFE sigue siendo la única entidad autorizada para comprar electricidad a los productores privados, razón por la cual se denomina a este esquema como modelo de "comprador único". Es importante mencionar que, en 2009, tras la extinción de Luz y Fuerza del Centro (LFC)<sup>2</sup>, la CFE asumió la responsabilidad total del Sistema Eléctrico

---

<sup>2</sup> Decreto de liquidación de LFC el 11 de octubre de 2009.

---

Nacional (SEN) y absorbió el mercado que atendía LFC, para cubrir con el servicio eléctrico a todos sus usuarios, lo que no modificó el modelo organizacional adoptado en la industria eléctrica.

En este modelo, la CFE se desempeña de dos maneras: como una empresa productiva de estado con integración vertical y como un importante comprador de energía. Los PIE se centran exclusivamente en la generación, utilizando estructuras y tecnologías similares, lo que resulta en costos parecidos. Dentro del sistema eléctrico, existen dos tipos de generadores, cada uno con distintas tecnologías y ubicados en diferentes regiones geográficas. Todos los consumos se agrupan en una región cercana a estos generadores, que están interconectados mediante la red eléctrica.

Con la reforma de 2013, se buscó crear un sector eléctrico eficiente, orientado a la reducción de costos y tarifas eléctricas mediante la adopción de tecnologías renovables. Este enfoque también buscaba erradicar la pobreza energética garantizando el acceso universal a la electricidad y fomentando la competitividad en toda la cadena de valor, mediante la participación privada en la generación y comercialización, mientras que la transmisión y distribución siguieron bajo la responsabilidad estatal a través del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

- 4. Mercado Eléctrico Mayorista (MEM):** Los ajustes en el sector eléctrico mexicano llevaron a la instauración del MEM en enero de 2016, administrado por el CENACE. Este mercado permite a los participantes comerciar diversos productos necesarios para el óptimo

funcionamiento del SEN. El MEM proporciona un entorno competitivo con normativas claras destinadas a incentivar la reducción continua de costos y a mejorar la calidad del servicio. Dentro de este marco, los participantes intercambian productos como energía eléctrica, potencia, certificados de energía limpia, derechos financieros de transmisión y servicios conexos, entre otros. Además, los cambios normativos han redefinido la estructura y clasificación de los actores en el sector, quienes se categorizan generalmente en generadores, proveedores y consumidores, con la capacidad de participar o no en el MEM.

Los principales actores en el MEM se describen de la siguiente manera:

- **Generador.** Con base en su capacidad de generación de energía se puede clasificar como un generador exento, es decir, que no requiere un permiso para generar porque su capacidad es menor a 0.5 Megawatts (MW); o en un participante del MEM cuya capacidad es mayor o igual a 0.5 MW y, por lo tanto, necesita un permiso emitido por la CRE.
- **Suministrador.** Es un comercializador que se encarga de proveer energía eléctrica a los usuarios finales y también representa a los generadores exentos ante el MEM. Es una figura intermedia entre el generador y los usuarios finales, siendo necesaria para darle una estructura ordenada al mercado. Para lo anterior, requiere de un permiso expedido por la CRE, misma entidad que establece los requisitos específicos para ofrecer el servicio.

Los suministradores pueden participar en el MEM bajo las siguientes modalidades dependiendo del usuario al que prestan el servicio: suministrador de servicios básicos, suministrador de servicios calificados, suministrador de último recurso y comercializador no suministrador.

Cabe mencionar que, a diferencia de un generador, el suministrador, en cualquiera de sus modalidades, es un participante del MEM. Es necesario aclarar que cualquier usuario que tenga una demanda menor a 0.5 MW tiene que adquirir necesariamente la energía a través de un suministrador. Un usuario con una demanda mayor a 0.5 MW, puede comprar la energía directamente del MEM o lo puede hacer a través de un suministrador.

- **Usuario.** Es aquél que adquiere la electricidad para su propio consumo, ya sea a través de un suministrador o como participante del MEM. En términos generales existen tres tipos de usuario:
  1. El primero es el **usuario básico**, que normalmente son los consumidores residenciales y pequeños comercios, no participa en el MEM, obtiene su energía del suministrador de servicios básicos, **y la tarifa que paga por esa electricidad es regulada por la CRE y no por el mercado.**
  2. El segundo es el **usuario calificado** con demanda entre 1 MW y 5 MW, cuya energía proviene de un suministrador de servicios calificados, **y su tarifa se establece por contrato.**
  3. El último es el **usuario calificado participante del MEM**, cuya demanda es mayor a 5 MW, debe registrarse ante el CENACE

como participante del MEM y **su tarifa se establece por los precios del Mercado de Corto Plazo o por un contrato bilateral.**

Estos participantes se relacionan mediante el intercambio de una variedad de productos en mercados específicos del sistema eléctrico, tales como el mercado de corto plazo, el de balance de energía, los certificados de energía limpia, y las subastas de mediano y largo plazo, además de los derechos financieros de transmisión. Estas interacciones están diseñadas para asegurar la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico.



Fuente: Tomado de Plataforma México, Clima y Energía (PMCE) con información de las Bases del Mercado Eléctrico.

El **MEM** actualmente se estructura en varios componentes clave que facilitan el intercambio de energía y servicios relacionados para mantener la eficiencia y estabilidad del SEN. Aquí se presenta un resumen de los principales elementos y funciones del MEM:

**Mercado de Energía de Corto Plazo:** Operado por el CENACE, este mercado facilita la compra y venta de energía y servicios conexos basados en precios marginales locales y precios zonales. El objetivo es enviar señales de precio

que incentiven la mejora de la eficiencia operativa de los generadores. La asignación de plantas en este mercado prioriza las más eficientes, generalmente proyectos de energía limpia, hasta cubrir la demanda. El precio marginal local, establecido por la última planta despachada, es recibido por todos los generadores cuyas ofertas fueron aceptadas.

**Mercado de Balance de Potencia:** Este es un mercado anual que refleja la escasez o exceso de capacidad generadora disponible a través de precios, facilitando la planificación de la capacidad necesaria para cubrir los picos de demanda anuales. En este mercado, los generadores y las Entidades Responsables de Carga (ERC) compran o venden potencia en función de sus necesidades contractuales y la disponibilidad de capacidad.

**Mercado de Certificados de Energía Limpia (CEL):** Implementado para fomentar la generación de energía a partir de fuentes renovables o tecnologías limpias, este mercado opera bajo la supervisión del CENACE. Los generadores de energía limpia pueden obtener ingresos adicionales mediante la venta de CEL, que acreditan la producción de energía eléctrica limpia. Los CEL tienen una vigencia de 20 años y son una herramienta clave para cumplir con las metas de la Ley de Transición Energética (LTE).

**Subastas de Derechos Financieros de Transmisión (DFT):** Estas subastas, operadas por el CENACE, tienen como objetivo gestionar el riesgo de congestión en la red eléctrica. Los titulares de DFT pueden administrar los riesgos asociados a las diferencias de precios entre los nodos de origen y destino de la electricidad.

---

**Subastas de Contratos de Mediano y Largo Plazo:** Estas subastas se diseñaron para proporcionar certidumbre financiera a los inversores de proyectos de generación, ofreciendo contratos de hasta 15 años para largo plazo, y de tres años para mediano plazo, en los cuales se pueden vender productos como energía, potencia y CEL.

Cada uno de estos componentes del MEM pretendía asegurar que se satisficieran tanto las necesidades inmediatas como las de largo plazo del sistema eléctrico, mientras promovía la sostenibilidad y la eficiencia del SEN.

**Reforma 2021.** La reforma a la Ley de la Industria Eléctrica de 2021 buscó priorizar el despacho de electricidad generada por la CFE, modificando las reglas previas que obligaba a CFE a comprar energía a generadores privados a través de las subastas, con este cambio intentó fortalecer las finanzas de la CFE al aumentar su participación en el mercado eléctrico nacional, desplazando a otros generadores, principalmente privados. Antes de esta Reforma, la Ley de la Industria Eléctrica de 2013 establecía que el acceso a la red eléctrica debía basarse en los costos de generación.

Además, la Reforma estableció que todos los permisos para generación eléctrica debían alinearse con los criterios de planeación del SEN, emitidos por la Secretaría de Energía (SENER). También eliminó la obligación del Suministrador de Servicios Básicos, una subsidiaria de la CFE, de comprar energía a través de subastas.

Si bien la Reforma de 2021 fue declarada inconstitucional por la Suprema Corte de Justicia a finales de enero de 2024, al determinar que siete artículos atentaban contra principios como la competencia y la libre concurrencia



en el sector de la generación de energía eléctrica, contraviniendo el mandato constitucional que prevé la conformación de un mercado eléctrico competitivo; la CFE, desde entonces, ha implementado cambios significativos para alinearse con las políticas energéticas nacionales, enfocándose en los siguientes aspectos:

1. **Sostenibilidad:** Integración de tecnologías renovables y estrategias de sustentabilidad para promover un modelo energético más limpio y eficiente.
2. **Eficiencia operativa:** Mejoras en los procesos internos y en la infraestructura con el objetivo de reducir costos y mejorar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios.
3. **Transparencia:** Publicación de informes anuales y planes de negocios que aseguran la rendición de cuentas y fomentan la participación ciudadana en la gestión de la empresa.

El Plan de Negocios de la CFE para el período 2021-2025 detalla las estrategias y objetivos de la empresa, enfatizando la importancia de la autosuficiencia energética y el fortalecimiento de su infraestructura para enfrentar los desafíos del mercado energético nacional actual.

### 1.1.2 Infraestructura

De Acuerdo con información de la CFE<sup>3</sup>, sus principales indicadores de infraestructura son los siguientes:

---

<sup>3</sup> Comisión Federal de Electricidad. (2021). Plan de Negocios de la CFE para el período 2021-2025. Disponible en: <https://www.cfe.mx/nuestraempresa/Pages/historia.aspx>.

- El portafolio de Generación de la empresa es de 158 centrales.
- Cuenta con una red de transmisión de 110.3 mil kilómetros, y una red de distribución de 882.7 mil kilómetros.
- Atiende a 46 millones de clientes, colocando a CFE como una de las empresas de electricidad y energía más importantes de México y de Latinoamérica.

### **1.1.3 Capacidad instalada**

Durante sus primeros años, la capacidad instalada de la CFE era limitada, con sólo 64 kilowatts (kW) en 1938, pero aumentó hasta alcanzar 45,594 kW en 1946. Este crecimiento se debió a la necesidad de suplir la demanda insatisfecha y a la falta de inversiones por parte de empresas privadas que dominaban el mercado en ese momento.

En 1960, con la nacionalización de la industria eléctrica se incrementó significativamente la capacidad instalada y la cobertura del servicio eléctrico. Para el año 2000, la CFE tenía una capacidad instalada de 35,385 Megawatts (MW) y una cobertura del 94.70 por ciento a nivel nacional, atendiendo a más de 18.6 millones de usuarios.

Con la reforma energética de 2013, la CFE se reorganizó en diversas subsidiarias y filiales, iniciando su participación en el Mercado Eléctrico Mayorista en 2016. Desde entonces, ha continuado expandiendo su capacidad instalada mediante la modernización de centrales hidroeléctricas y la construcción de nuevas plantas fotovoltaicas y de ciclo combinado.

Al cierre del 2021, la capacidad entregada a la red de la CFE, los PIE y del resto de los permisionarios fue de 86,153 MW, mientras que al cierre de diciembre de 2022 se incrementó hasta 87,130 MW, lo cual refleja un incremento de 1.1 por ciento con respecto a 2021. Este incremento se debe principalmente, a adiciones de centrales de ciclo combinado (772 MW) y centrales eléctricas fotovoltaicas (FV) (580 MW). Mientras que para las centrales eléctricas en pruebas, se tienen 2,760 MW destacando las centrales eléctricas FV (1,001 MW), los ciclos combinados (883 MW) y las centrales eólicas (810 MW).

Para 2021 y 2022, la capacidad instalada de las centrales de Energía Limpia (hidroeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas, fotovoltaicas y de bioenergía) fue de 26,899 y 27,453 MW, respectivamente<sup>4</sup>; un incremento del 2.1 por ciento, siendo las centrales fotovoltaicas y la bioenergía las principales fuentes de tal incremento, considerando las centrales en operación y en pruebas.

---

<sup>4</sup> Secretaría de Energía. (2023). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2023-2027 (PRODESEN). Disponible en: <https://base.energia.gob.mx/PRODESEN2023/Anexo1.pdf>.

## Capacidad instalada de la CFE y el resto de los permisionarios (megawatts)

TECNOLOGÍA	2019	2020 <sup>1/</sup>	2021 <sup>6/</sup>	2022 <sup>7/</sup>
Hidroeléctrica	12,612	12,612	12,614	12,613
Geotermoeléctrica	899	951	976	976
Eoloeléctrica	6,050	6,504	6,977	6,921
Fotovoltaica	3,646	5,149	5,955	6,535
Bionergía <sup>2/</sup>	375	378	378	408
<b>Suma limpia renovable</b>	<b>23,582</b>	<b>25,594</b>	<b>26,899</b>	<b>27,453</b>
Nucleoeléctrica	1,608	1,608	1,608	1,608
Cogeneración eficiente <sup>5/</sup>	1,710	2,305	2,305	2,308
<b>Suma limpia no renovable</b>	<b>3,318</b>	<b>3,913</b>	<b>3,913</b>	<b>3,916</b>
<b>Total capacidad de Energía Limpia</b>	<b>26,900</b>	<b>29,506</b>	<b>30,812</b>	<b>31,369</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>34.3</b>	<b>35.5</b>	<b>35.8</b>	<b>36.0</b>
Ciclo combinado	30,402	31,948	33,640	34,413
Térmica convencional <sup>3/</sup>	11,831	11,809	11,793	11,343
Turbogás <sup>4/</sup>	2,960	3,545	3,744	3,815
Combustión interna	891	850	701	728
Carboeléctrica	5,463	5,463	5,463	5,463
<b>Total</b>	<b>78,447</b>	<b>83,121</b>	<b>86,153</b>	<b>87,130</b>

1/ Capacidad instalada de la CFE y del resto de los permisionarios al 31 de diciembre de 2020.

2/ Incluye uso de biomasa, bagazo de caña, biogás y licor negro como combustibles de acuerdo con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

3/ Incluye Lecho Fluidizado.

4/ Incluye plantas móviles.

5/ Con base a la información del 21-mar-2021, se modificaron las Centrales Eléctricas de cogeneración que tienen Certificado de Energía Limpia Cogeneración Eficiente.

6/ Capacidad instalada de la CFE y del resto de los permisionarios, al 31 de diciembre de 2021.

7/ Capacidad instalada de la CFE y del resto de los permisionarios, al 31 de diciembre de 2022.

FUENTE: Tomado del PRODESEN 2024-2037.

### 1.1.4 Generación de electricidad

Desde 1992, la generación de electricidad ha experimentado un crecimiento sostenido, reflejando tanto el aumento de la demanda energética como la diversificación de las fuentes de generación. En 1992, la generación total de electricidad era de aproximadamente de 150,000 gigawatts-hora (GWh). Para 2023, esta cifra aumentó a cerca de 350,000

---

GWh, lo que representa una tasa de crecimiento promedio anual del 3.2 por ciento.

### **Periodos de crecimiento:**

**1992-2000:** La capacidad de generación aumentó a una tasa anual promedio de 2.8 por ciento, impulsada principalmente por la construcción de plantas termoeléctricas y la expansión de la red hidroeléctrica.

**2001-2010:** Durante esta década, la tasa de crecimiento promedio anual se situó en 3.1 por ciento, con un notable incremento en la capacidad de plantas de ciclo combinado.

**2011-2020:** Este periodo mostró un crecimiento del 3.5 por ciento anual, debido a la entrada de inversión privada y la construcción de numerosas plantas de energía renovable.

**2021-2023:** A pesar de desafíos económicos globales, el crecimiento ha mantenido un ritmo promedio anual del 2.5 por ciento, con una mayor integración de fuentes renovables y tecnologías más eficientes.

### **Participación de permisionarios**

Antes de la reforma de 2013, la CFE era el principal generador de energía eléctrica, pero la liberalización del mercado a partir de ese año incrementó la participación de generadores privados.

Desde 2023, se estima que los permisionarios privados generan aproximadamente el 46 por ciento de la electricidad total del país. Esta generación proviene mayoritariamente de plantas de ciclo combinado (38.64%) y en menor medida de eólicas y solares (en conjunto representan 7.36%), reflejando una incipiente diversificación de las fuentes de energía en desarrollo.

### **Diversificación y energías renovables**

La participación de energías renovables creció significativamente en las últimas décadas. En 1992, la generación renovable representaba menos del 10 por ciento del total; mientras que para 2023, aumentó cerca del 28 por ciento, debido a mayores inversiones en energía eólica, solar y geotérmica.

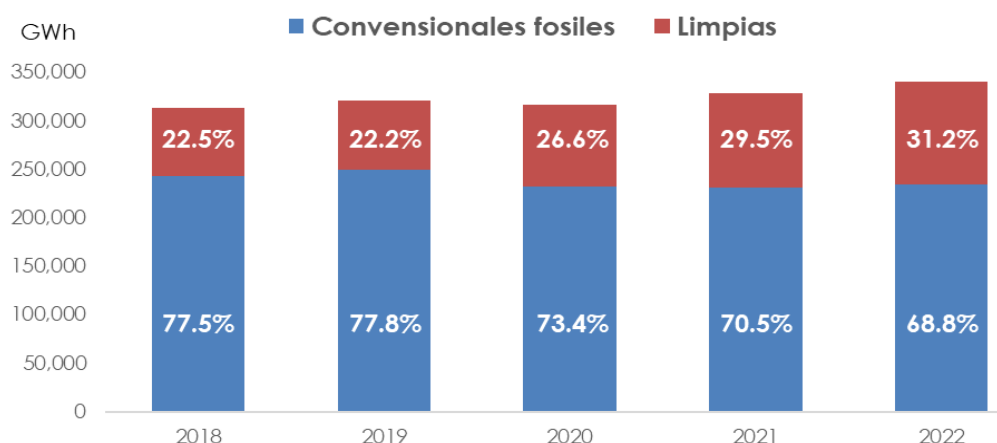
La generación total neta de energía eléctrica ha experimentado un aumento sostenido a una tasa media de crecimiento de 2.1 por ciento anual durante los últimos cinco años, como se observa en las siguientes cifras:

<b>Generación total neta</b>	
<b>Año</b>	<b>GWh</b>
2018	313,978.24
2019	321,584.42
2020	317,268.51
2021	328,597.97
2022	340,712.75

Fuente: Elaborado por el CEFP con datos del PRODESEN 2023-2037.

En 2013, la participación de las energías limpias en la generación total de energía era de 15.3 por ciento. Este porcentaje aumentó a 22.5 por ciento en 2018, y en 2022 alcanzó 31.2 por ciento.

## Generación total y porcentaje de generación eléctrica limpia y convencional, 2018-2022



Fuente: Elaborado por el CEFP con datos del PRODESEN 2023-2037.

La generación de electricidad a partir de fuentes renovables tuvo un crecimiento notable durante los últimos años, por ejemplo, entre 2018 y 2022, la generación mediante tecnologías fotovoltaica, eoloeléctrica e hidroeléctrica experimentó aumentos del 533.4<sup>5</sup>, 65.1 y 10.3 por ciento, respectivamente.

### Generación de energía limpia renovable por tipo de tecnología (GWh), 2018-2022

Fuente de energía/periodo	2018	2019	2020	2021	2022
Hidroeléctrica	32,234.1	23,602.4	26,817.0	34,717.2	35,558.9
Geotermoeléctrica	5,064.7	5,060.7	4,574.6	4,242.9	4,412.7
Eoloeléctrica	12,435.3	16,726.9	19,702.9	21,074.9	20,528.8
Fotovoltaica	3,211.7	9,964.3	15,835.6	20,194.9	20,342.0
Bioenergía	1,989.2	1,866.5	2,206.5	1,595.6	2,141.3
<b>RENOVABLES TOTAL</b>	<b>54,934.9</b>	<b>57,220.8</b>	<b>69,136.6</b>	<b>81,825.4</b>	<b>82,983.6</b>
<b>Porcentaje respecto al total</b>	<b>17.50%</b>	<b>17.80%</b>	<b>21.80%</b>	<b>24.90%</b>	<b>24.40%</b>

Fuente: Elaborado por el CEFP con datos del PRODESEN 2023-2037.

<sup>5</sup> Proyectos como el Parque Solar Villanueva y Villanueva III en Coahuila, Don José en Guanajuato, Aura Solar I en Baja California Sur, Los Santos Solar I en Chihuahua, Puerto Libertad en Sonora y San Luis de la Paz en Guanajuato incrementaron significativamente la capacidad fotovoltaica.

## **1.2 Sector de hidrocarburos**

El sector de hidrocarburos comprende una amplia gama de actividades, desde la exploración hasta la comercialización de hidrocarburos y sus derivados. Este sector está regulado por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la Secretaría de Energía (SENER), con la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA) encargada de supervisar la seguridad industrial y la protección ambiental.

Con la reforma energética de 2013 se inició el proceso de rondas de licitación para la exploración y extracción de hidrocarburos. Hasta abril de 2024, la CNH adjudicó 107 contratos de exploración y extracción, distribuidos en contratos de aguas profundas, someras y terrestres, contando con la participación de empresas de 20 países.

A nivel político y regulatorio, se han implementado lineamientos detallados para asegurar la cooperación entre los actores del sector y una gestión eficaz de los recursos energéticos, incluyendo procedimientos para la unificación de yacimientos compartidos y la determinación de contraprestaciones económicas por la extracción de hidrocarburos. PEMEX, como empresa productiva del Estado, continúa siendo un actor dominante, aunque su rol se modificó con la apertura del mercado a la competencia.

### **1.2.1 Infraestructura**

La infraestructura petrolera incluye diversas instalaciones clave para la exploración, producción, refinación, almacenamiento y transporte de hidrocarburos. Se cuentan con seis refinerías operativas: Cadereyta,



Madero, Minatitlán, Salina Cruz, Salamanca y Tula, además de la nueva refinería Dos Bocas. En cuanto a almacenamiento, el país dispone de 73 Terminales de Almacenamiento y Reparto (TAR), cinco Terminales de Operación Marítima y Portuaria (TOMP), y diez Residencias de Operación Marítima y Portuaria (ROMP). La red de transporte de hidrocarburos incluye aproximadamente 8,946 kilómetros de poliductos, esenciales para el movimiento seguro y eficiente de crudo y productos refinados. Los principales puntos de operación marítima incluyen puertos estratégicos que facilitan el comercio internacional de hidrocarburos, asegurando la importación y exportación eficiente de petróleo y productos derivados.

La expansión y modernización de la infraestructura del sector de hidrocarburos es necesaria para atender la demanda creciente de combustibles, pero tiene implicaciones para el uso de energías limpias y la sostenibilidad ambiental. La mejora de la infraestructura puede ser una plataforma para la transición energética, permitiendo la integración de biocombustibles. Sin embargo, también existe el riesgo de prolongar la dependencia de los combustibles fósiles. Las inversiones pueden orientarse hacia la eficiencia y la reducción de emisiones, mientras que las políticas podrían enfocarse en la diversificación energética, incluyendo el uso de renovables. Es vital desarrollar normativas que impulsen tecnologías limpias y proyectos verdes como la captura de carbono. La planificación de estas infraestructuras debe considerar su impacto social y ambiental, asegurando prácticas sustentables que respeten tanto a las comunidades locales como al medio ambiente. En conjunto, la estrategia de infraestructura energética representa una oportunidad para alinear estrechamente el sector energético con los objetivos de sostenibilidad y transición hacia energías limpias.

## 2. Políticas y legislación energética

Las políticas y la legislación energética han experimentado transformaciones significativas a lo largo de los años, con el objetivo de modernizar el sector, incrementar la eficiencia y atraer inversión. El marco regulatorio actual se basa en una serie de reformas y leyes que buscan promover la competencia, garantizar la seguridad energética y fomentar el desarrollo sustentable de los recursos energéticos.

### 2.1 Leyes, regulaciones y organismos vigentes en materia energética

En este apartado se describe el marco regulatorio del sector energético, abarcando, tanto la normativa internacional y nacional, como los actores clave que intervienen en su gestión y regulación.

#### Acuerdos internacionales

México ha firmado varios Acuerdos internacionales que son fundamentales para su política energética:

1. **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático:** México participa activamente en este marco desde 1992, estableciendo acciones intergubernamentales para enfrentar el cambio climático.
2. **Protocolo de Kioto:** Se firmó en 1997 y se ha trabajado en iniciativas para la reducción de emisiones.

- 3. Acuerdo de París:** México se comprometió en 2015 a reducir un 22 por ciento de sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, con un potencial aumento a 35 por ciento con apoyo internacional.

Estos Acuerdos han sido integrados en el marco regulatorio nacional, alineando los objetivos internacionales con las políticas y metas internas de México.

### **Normatividad nacional**

El marco regulatorio en el sector energético se estructura alrededor de varias leyes clave:

- 1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos:** Los artículos 25, 27 y 28 establecen la rectoría del Estado en el sector energético, la propiedad nacional de los hidrocarburos en el subsuelo, y la regulación de las actividades estratégicas del Estado en el SEN y la exploración y extracción de hidrocarburos.
- 2. Ley de Transición Energética:** Promueve el uso de energías limpias y la eficiencia energética, fijando metas específicas para la participación de estas energías en la generación de electricidad y delegando responsabilidades a la SENER.
- 3. Ley de la Industria Eléctrica (LIE):** Regula la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, asegurando un suministro eficiente, sustentable y confiable. La LIE también faculta a

---

la SENER para elaborar el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN).

- 4. Ley General de Cambio Climático:** Establece disposiciones para enfrentar el cambio climático y fomenta la transición hacia una economía de bajas emisiones de carbono, incluyendo metas de reducción de emisiones y la adopción de tecnologías limpias.

### **Participación de Estados y Municipios**

Los gobiernos estatales y municipales desempeñan un papel fundamental en la implementación de políticas energéticas. Ajustan las políticas nacionales a sus necesidades particulares, fomentando la eficiencia energética y el uso de energías renovables en sus jurisdicciones. La colaboración entre el gobierno federal y los gobiernos locales es esencial para alcanzar los objetivos de sostenibilidad energética.

### **Organismos reguladores**

Los principales organismos reguladores en el sector energético son:

- 1. Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH):** Regula y supervisa la exploración y producción de hidrocarburos.
- 2. Comisión Reguladora de Energía (CRE):** Autoriza y vigila la generación, transmisión y distribución de electricidad y gas.

**3. Centro Nacional de Control de Energía (CENACE):** Gestiona y coordina la operación del sistema eléctrico nacional.

**4. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE):** Promueve y fomenta la eficiencia energética y el uso sustentable de la energía.

### **Instrumentos de planeación**

Se cuentan con varios instrumentos de planeación que guían la política energética del país:

**1. Programa Sectorial de Energía (PROSENER):** Define los objetivos y prioridades del sector energético, centrándose en el aprovechamiento de recursos y la promoción de energías limpias.

**2. Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios:** El programa establece directrices para incrementar la participación de energías limpias y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

### **Empresas Productivas del Estado**

Empresas como Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) son fundamentales para la ejecución de las políticas energéticas. Estas empresas desempeñan roles clave en la generación de energía y en la implementación de proyectos, siendo esenciales para la transición energética del país.

Aunque el marco legal existente es robusto, su implementación efectiva es esencial para lograr una transición energética exitosa, por lo que es importante mejorar la coordinación entre los actores involucrados y asegurar que las políticas sean flexibles y adaptables a las condiciones cambiantes del mercado y del medio ambiente.

## **2.2 Reforma energética de 2013 y su impacto**

La reforma energética de 2013 permitió la inversión privada en actividades antes exclusivas de PEMEX y la CFE mediante modificaciones constitucionales en los artículos 25, 27 y 28. Estos cambios buscaban aumentar la producción de hidrocarburos, atraer inversiones y diversificar la matriz energética. Además, se creó el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), abriendo la generación y comercialización de electricidad a la participación privada, mientras que la transmisión y distribución permanecieron bajo control estatal.

Entre 2006 y 2023, la Inversión Extranjera Directa (IED) en el sector energético promedió 3,421 millones de dólares (mdd) anuales, con un crecimiento promedio anual del 17.32 por ciento. Entre 2019 y 2023, el promedio anual de IED se redujo a 2,787 mdd, lo que representó una caída del 50.1 por ciento en comparación con el periodo 2013-2017 (BBVA Research, 2023).

A nivel estatal, las entidades con mayor recepción de IED en el sector energético entre 2006 y 2023 fueron Aguascalientes con 15.3 por ciento (7,916 mdd), Veracruz con 11.7 por ciento (6,068 mdd) y Tamaulipas con 10.1 por ciento (5,245 mdd). El aumento en la producción industrial atrae una

---

mayor IED en el sector energético con uno o dos años de rezago, impulsando la producción manufacturera, principalmente en sectores de perfil exportador (BBVA Research, 2023).

Durante la administración de 2018-2024 se implementaron cambios significativos en la política energética. Una de las principales estrategias fue el fortalecimiento de las empresas estatales, PEMEX y CFE, con el objetivo de restablecer su dominio en el mercado energético mexicano. Para ello, se inyectaron recursos financieros, se otorgaron beneficios fiscales y se promovió la construcción de nuevas infraestructuras, como la refinería de Dos Bocas en Tabasco.

Esta administración priorizó la refinación interna de petróleo y promovió la autosuficiencia en la generación de electricidad. En 2021, el Congreso mexicano aprobó una reforma a la Ley de la Industria Eléctrica promovida por el ejecutivo. Esta reforma priorizó el despacho de energía generada por la CFE sobre la de productores privados, modificando el orden de prelación en el sistema eléctrico nacional. Con esta medida se buscó garantizar la confiabilidad y la estabilidad del suministro eléctrico y reducir los costos para el consumidor final. Sin embargo, fue declarada inconstitucional el 31 de enero de 2024.

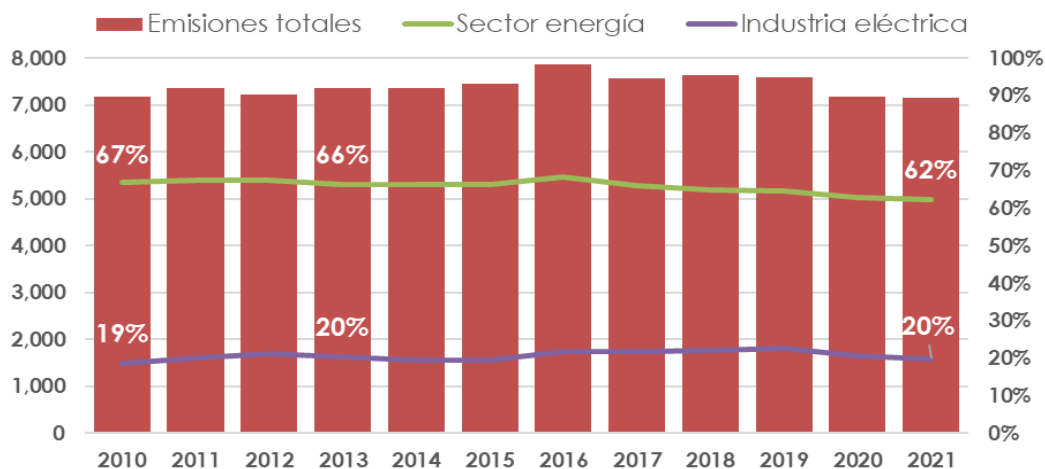
### **Impacto ambiental**

La reforma energética de 2013 permitió el desarrollo de nuevas infraestructuras energéticas con un enfoque en las energías limpias. Sin embargo, entre 2013 y 2021, las emisiones de gases de efecto invernadero

(GEI) se mantuvieron constantes, en alrededor de 7 mil toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (CO<sub>2</sub>e, por sus siglas en inglés), lo que refleja la persistencia del uso de energías fósiles.

### Participación de la industria eléctrica en las emisiones de GEI nacionales, 2010-2021

(miles de toneladas de CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaborado por el CEFP con información del INECC.

Por su parte, la participación del sector energético en las emisiones totales disminuyó del 66 por ciento en 2013 a 62 por ciento en 2021, lo que indica avances en este sector. Sin embargo, la participación de la industria eléctrica en las emisiones totales se mantuvo sin cambios (alrededor del 20%), lo que sugiere que aún enfrenta desafíos importantes para lograr una mayor eficiencia y una adopción más amplia de tecnologías limpias.

Es importante mencionar que se creó la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA) para regular los impactos ambientales, pero esta agencia enfrentó limitaciones debido a la competencia con otras dependencias ambientales.



## **Impacto social**

En términos sociales, la reforma energética tuvo un impacto significativo en las comunidades locales y pueblos indígenas debido al aumento en la ocupación de tierras y la explotación de recursos naturales.

Esto, porque la legislación secundaria no incluyó mecanismos adecuados de participación y rendición de cuentas. Estos problemas resaltan la necesidad de integrar, de manera más efectiva, los derechos humanos y las preocupaciones sociales en la regulación del sector energético.

Por lo anterior, los futuros proyectos de infraestructura en el sector energético deben garantizar los derechos, intereses y formas de vida de las poblaciones. En este sentido, se han establecido líneas de acción encaminadas a implementar acciones colaborativas que promuevan la transición energética bajo principios de equidad de género, eliminación de la pobreza energética y participación ciudadana, con el objetivo de considerar a las comunidades y velar por el respeto a sus derechos.

### **3. Compromisos internacionales y cambio climático**

Los compromisos internacionales en la lucha contra el cambio climático se plasmaron en diversas cumbres mundiales, como la Conferencia de las Partes (COP), convirtiéndose en un tema relevante para la agenda de los países. En estas reuniones, se planteó el objetivo de utilizar los recursos forestales (maderables o no) de manera ordenada, al mismo tiempo que se planificaba y desarrollaba la regeneración de bosques y selvas. Este tema se considera complejo debido a su estudio por diversas disciplinas, su asociación con una gran cantidad de información y el alto nivel de incertidumbre, siendo el mayor desafío, los tópicos relativos a la economía de los recursos naturales y la política medioambiental.

El cambio climático se identificó como uno de los problemas más graves que enfrenta la humanidad, debido a las severas amenazas para la subsistencia humana. Este fenómeno se produjo como consecuencia del calentamiento global, que en los últimos años se aceleró significativamente. El calentamiento global se debió al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, que provienen principalmente de actividades humanas. Estos gases se acumularon en la atmósfera, impidiendo la dispersión de la energía solar reflejada por la superficie terrestre, lo que incrementó la temperatura del planeta. Entre los gases que más contribuyeron al calentamiento global se destacaron el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub>), los óxidos de azufre y, principalmente, el metano (CH<sub>4</sub>).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), adoptada en 1992 durante la Cumbre de la Tierra en Río de

---

Janeiro, es uno de los primeros tratados internacionales centrados específicamente en el cambio climático. Este tratado pionero estableció un marco global para abordar el problema, reconociendo la necesidad de una acción internacional coordinada para estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y prevenir interferencias peligrosas con el sistema climático.

Antes de la CMNUCC, existían iniciativas y acuerdos ambientales más generales, pero ninguno con el mismo enfoque específico y alcance en el cambio climático. La CMNUCC marcó un hito al introducir principios como la responsabilidad común pero diferenciada, reconociendo que los países desarrollados tienen una mayor responsabilidad debido a su contribución histórica a las emisiones.

La CMNUCC organiza reuniones anuales, donde los países firmantes evalúan el progreso y negocian nuevos compromisos y acciones. De estas conferencias surgieron acuerdos importantes como el Protocolo de Kioto en 1997 y el Acuerdo de París en 2015, que establecen objetivos y mecanismos específicos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los impactos del cambio climático.

### **3.1 Protocolo de Kioto y los compromisos adquiridos por México**

El Protocolo de Kioto, adoptado en 1995 y basado en los principios de la CMNUCC, comprometió a los países industrializados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un promedio de 5.2% durante el primer periodo de compromisos (2008-2012). Para alcanzar estos objetivos, el Protocolo estableció mecanismos de mercado como el Comercio de

Derechos de Emisiones, la Implementación Conjunta y el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL). Este último permitió a México actuar como vendedor de Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE) sustentadas en proyectos de mitigación registrados.

México logró avances significativos a través del MDL, ubicándose en el quinto lugar mundial tanto por el promedio anual de reducción de emisiones de GEI como por la cantidad de reducciones certificadas obtenidas. Al 31 de agosto de 2012, México había recibido 16,460,128 RCEs y registrado más de 150 proyectos con un potencial de abatimiento de 130 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e anuales al 2020.

El Protocolo fue aprobado en diciembre de 1997, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. México firmó el Protocolo el 9 de junio de 1998 y el Senado de la República aprobó su ratificación el 29 de abril de 2000.

El Protocolo de Kioto concluyó su segundo periodo de compromisos en 2020 y fue reemplazado por el Acuerdo de París.

### **3.2. Acuerdo de París**

La COP 21, celebrada del 30 de noviembre al 11 de diciembre de 2015 en París, Francia, reunió a 195 naciones que asumieron compromisos contra el cambio climático y a favor del medio ambiente y el desarrollo sostenible. Este Acuerdo compromete a todas las naciones a trabajar de manera ambiciosa, progresiva, equitativa y transparente para mantener la temperatura global por debajo de 1.5°C.

El Acuerdo de París es jurídicamente vinculante, universal y establece metas a largo plazo con compromisos claros, destacando, tanto la mitigación como la adaptación al cambio climático. Reconoce el papel esencial de los bosques y está acompañado de un plan de trabajo para el periodo 2016-2020. Cada cinco años, la COP evaluará la implementación del Acuerdo y los avances hacia sus metas. Estas evaluaciones iniciaron en 2023.

Dicho Acuerdo establece una meta global de mitigación a largo plazo para limitar el incremento de la temperatura global a menos de 2°C, preferentemente de no superar los 1.5°C. También fija una meta global de adaptación a largo plazo para aumentar la capacidad adaptativa, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Además, busca alinear los flujos financieros con un desarrollo resiliente y de bajas emisiones de GEI.

El Acuerdo implementa un esquema fortalecido de financiamiento, desarrollo y transferencia de tecnología, y construcción de capacidades para apoyar a los países en desarrollo en sus medidas climáticas. Envía un mensaje claro al sector privado al reconocer la posibilidad de participar en mecanismos de cooperación, como los mercados de bonos de carbono, estableciendo un nuevo mecanismo de participación. También incluye un artículo que fomenta la cooperación en educación y participación pública.

Asimismo, reconoce que, al tomar acciones climáticas, los países deben respetar, promover y considerar sus obligaciones en materia de derechos humanos e igualdad de género. El Acuerdo entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, 30 días después de que 55 países, que representan el 55 por ciento de las emisiones globales lo ratificaran.

## **México y el Acuerdo de París**

El 22 de abril de 2016, Día de la Tierra, se celebró en Nueva York una ceremonia de alto nivel para iniciar la firma del Acuerdo de París en el marco de la CMNUCC. El Acuerdo fue firmado por Rafael Pacchiano Alamán, titular de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en representación del presidente de la República. El 14 de septiembre de 2016, la Cámara de Senadores en México ratificó el Acuerdo.

México integró los compromisos del Acuerdo de París en su marco legislativo a través de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), que establece las bases para la política nacional en la materia. Esta ley fue actualizada en 2022<sup>6</sup> para alinearse con los objetivos del Acuerdo de París y asegurar el cumplimiento de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC). Cabe señalar que, México contribuye con el 1.3 por ciento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI).

### **Metas establecidas en el Acuerdo de París**

México aumentó su meta de reducción de gases de efecto invernadero del 22 al 35 por ciento para 2030. Esta reducción se logrará con recursos monetarios nacionales que aportarán al menos un 30 por ciento y un 5 por ciento adicional mediante cooperación y financiamiento internacional para energías limpias a través de programas internacionales. Además, se

---

<sup>6</sup> Contribuciones determinadas a nivel nacional de México (Actualización 2022). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Disponible en: [https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico\\_NDC\\_UNFCCC\\_update2022\\_FINAL.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf).

ratificó la meta de reducción de las emisiones de carbono negro en un 51 por ciento de forma no condicionada para 2030, y hasta un 70 por ciento de forma condicionada<sup>7</sup>.

### **Acciones en materia energética para el cumplimiento de los compromisos en materia de cambio climático**

Para cumplir con la política de cambio climático, a partir de 2016, la SENER implementó varias acciones para reducir las emisiones de GEI a través del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional y el Plan de Negocios de la CFE. Las principales líneas de acción incluyen:

1. Integración de energía limpia en la generación eléctrica.
2. Sustitución de combustibles de alto contenido de carbono por gas natural en centrales de alta eficiencia.
3. Reducción de las pérdidas técnicas de la red eléctrica.

El Plan de Modernización de las Hidroeléctricas de la CFE es una iniciativa clave, que incluye la rehabilitación y repotenciación de más del 40 por ciento de las centrales hidroeléctricas actuales, así como la construcción de nuevas centrales. También se busca aumentar la capacidad de generación con fuentes fotovoltaicas, eólicas y geotérmicas, fomentando la generación distribuida renovable y tecnologías emergentes como el hidrógeno verde.

---

<sup>7</sup> Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). México anunciará en la COP27 el incremento de sus ambiciones climáticas. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-anunciara-en-la-cop27-el-incremento-de-sus-ambiciones-climaticas>.

---

## **Petróleo y gas**

El sector de petróleo y gas se comprometió a una reducción del 14 por ciento en sus emisiones, una meta liderada por PEMEX. Este compromiso se basa en tres ejes principales: incremento de la cogeneración, reducción de emisiones fugitivas y programas de eficiencia energética. PEMEX ha establecido una meta de aprovechamiento del gas metano del 98 por ciento, con inversiones estimadas en más de 2 mil millones de dólares para desarrollar estrategias y obras prioritarias en nuevos desarrollos.



## **4. Desafíos en la transición energética**

La utilización de energías limpias es importante para reducir el uso de combustibles fósiles y apoyar la descarbonización de la economía. No obstante, diversos obstáculos dificultan su pleno desarrollo. Estos incluyen desafíos económicos (costos tecnológicos), técnicos (eficiencia y almacenamiento de energía), regulatorios (mercado eléctrico y conexión a la red), sociales (uso de la tierra) y ambientales (cambios en ecosistemas y pérdida de biodiversidad).

### **4.1 Barreras regulatorias y financieras**

Las principales barreras que enfrenta la plena transición a energías limpias son regulatorias y financieras, las cuales varían según el contexto y el tiempo, estando estrechamente ligadas: la modificación, refuerzo o implementación de políticas específicas. En cumplimiento con la Ley de Transición Energética, la SENER solicitó a la CFE, la CRE y el CENACE una perspectiva sobre los obstáculos actuales para las energías limpias. Las instituciones identificaron diversos desafíos y remitieron sus hallazgos y posturas técnicas a la SENER como parte del proceso de planeación democrática para la transición energética del país.

El CENACE identificó varios obstáculos para integrar energías limpias al SEN. Señaló que las regulaciones actuales no facilitan una integración adecuada. Además, es necesario actualizar y mejorar las reglas y normas que aseguran que el sistema eléctrico sea confiable y estable. Asimismo, se deben realizar estudios técnicos más detallados y precisos en las regiones donde se usan diversas energías limpias, como la solar y la eólica, para

---

garantizar que estas fuentes de energía puedan integrarse de manera eficiente y segura en el sistema eléctrico sin causar interrupciones o problemas de estabilidad. También es necesario un marco regulatorio que garantice pagos justos a las plantas que ayudan a mantener la estabilidad del sistema y actualizaciones en las reglas del mercado eléctrico para mejorar la seguridad y flexibilidad del sistema.

Por su parte, la CRE destacó la falta de regulación en el almacenamiento de energía, un elemento esencial para manejar la intermitencia de fuentes como la solar y la eólica. También destacó problemas en la expansión de la red de transmisión, la necesidad de mejor coordinación entre instituciones gubernamentales y el sector privado, y la falta de incentivos y herramientas de planeación. Por otra parte, se requiere mayor promoción y difusión de las energías limpias y facilitar los trámites para el desarrollo de proyectos.

La CFE identificó varios desafíos importantes para la integración de energías limpias en el sistema eléctrico. Primero, señalaron la variabilidad de recursos como un problema clave. Las fuentes de energía limpia, como la solar y la eólica, dependen de condiciones climáticas que pueden cambiar constantemente (por ejemplo, no siempre hace sol o viento), lo que dificulta la planificación y la consistencia en la generación de energía. En segundo lugar, destacaron la necesidad de diseños de infraestructura más flexibles. La infraestructura eléctrica actual necesita adaptarse mejor para integrar estas fuentes de energía, que son más variables y menos predecibles que las fuentes tradicionales de combustibles fósiles. Esto incluye la necesidad de mejorar las redes de transmisión y distribución para manejar eficientemente la energía generada por fuentes limpias. En tercer lugar, mencionaron retos económicos y ambientales. La implementación de

energías limpias requiere inversiones iniciales significativas en tecnología e infraestructura, lo cual puede ser costoso. También hay consideraciones ambientales importantes, como el impacto en la biodiversidad y el uso del suelo. Por ejemplo, la instalación de parques solares y eólicos puede afectar la fauna local y requerir grandes extensiones de terreno, lo que puede generar conflictos con comunidades locales y afectar el entorno natural. Finalmente, se identifica la necesidad de mejorar la capacitación y disponibilidad de personal calificado y enfrentar la resistencia a cambios regulatorios necesarios para integrar energías limpias.

#### **4.2 Integración de energías intermitentes en la red eléctrica**

Uno de los mayores obstáculos para el desarrollo de energías limpias es la saturación de proyectos de energías intermitentes, como los eólicos y fotovoltaicos, en varios puntos del SEN, especialmente en el norte del país. La falta de criterios de planeación adecuados llevó a la instalación desmedida de estos proyectos, lo que debilitó la red de transmisión y redujo la estabilidad del sistema debido al desplazamiento de centrales térmicas que brindaban soporte.

La ausencia de estudios técnicos necesarios impidió prever la capacidad de la red para manejar la generación intermitente, lo que habría permitido una mejor planificación. Para mantener la estabilidad del SEN, el CENACE ha reducido el despacho de las centrales intermitentes.

Para resolver este problema, es esencial realizar estudios que definan la capacidad regional para alojar generación intermitente y determinen las obras necesarias para reforzar la red y proporcionar generación de

---

respaldo. Esto permitiría una planificación ordenada y el crecimiento sostenible de las energías limpias, manteniendo la seguridad y estabilidad del SEN.

Las áreas con alto potencial eólico y los grandes requerimientos de espacio para paneles fotovoltaicos obligan a estas centrales a ubicarse lejos de la red de transmisión existente, lo que implica construir largas líneas de transmisión. Además, los puntos de interconexión posibles no siempre garantizan la robustez necesaria para manejar los cambios en las variables eléctricas causados por la variabilidad del viento o nubosidad, lo que podría requerir más infraestructura para asegurar la confiabilidad del sistema.

Las centrales que se interconectan en puntos no robustos necesitan dispositivos adicionales para garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico ante fallas. A diferencia de las centrales nucleares e hidroeléctricas, que utilizan tecnología compatible con los sistemas eléctricos existentes y brindan mejores condiciones de seguridad sin necesidad de dispositivos adicionales.

## **5. Perspectivas de las energías renovables a 2037**

El PRODESEN se ha convertido en un documento clave para la planificación de la política energética. Dicta la ruta de como integrar las energías limpias a la matriz energética y con ello cumplir con los compromisos internacionales en materia de generación y aprovechamiento de energías limpias. La CRE, el CENACE y la SENER elaboran este programa anualmente para pronosticar las necesidades de generación eléctrica hacia los próximos años. Entre los programas desarrollados se encuentran:

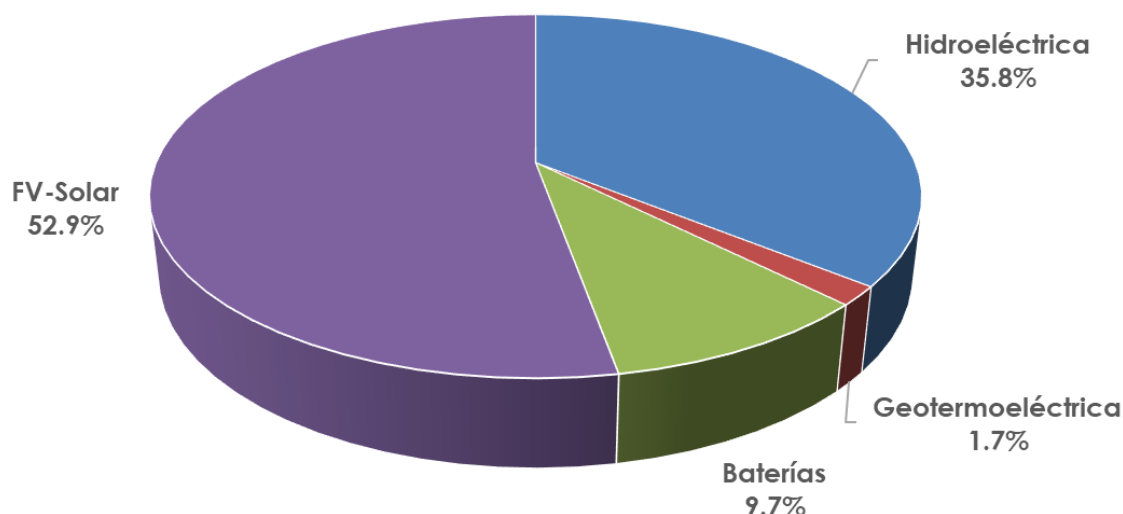
- Programas Indicativos para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE)
- Programas de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión (PAMRNT)
- Programas de Ampliación y Modernización de las Redes Generales de Distribución (PAMRGD)

Estos programas son fundamentales para planificar la expansión de la infraestructura eléctrica del país.

### **5.1 Evolución y capacidad instalada a corto plazo (2023-2026)**

La SENER ha establecido una capacidad adicional de 8,858 MW de diversas tecnologías entre 2023 y 2026. De esta capacidad, el 84.6 por ciento corresponde a energías convencionales y el 15.4 por ciento a energías limpias.

### Porcentaje de adición de capacidad por tipo de tecnología, 2023-2026



Fuente: Elaborado por el CEFP con datos del PRODESEN 2023-2037.

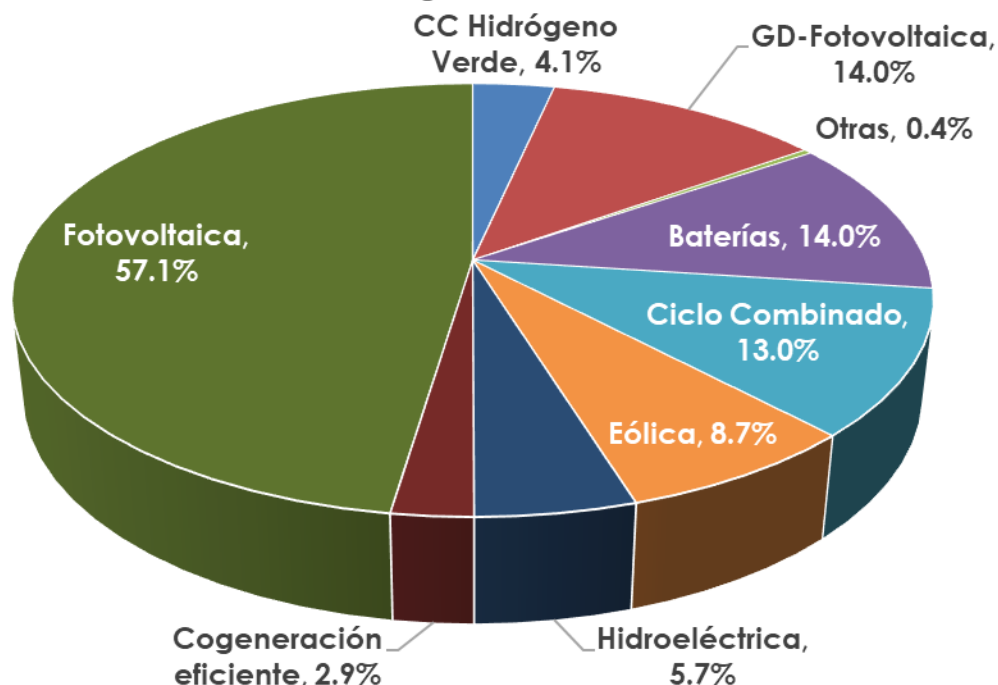
En un esfuerzo significativo por impulsar la energía limpia, la administración 2018-2024, inauguró la primera fase de la Central Fotovoltaica Puerto Peñasco en Sonora. Esta central, en su etapa final, producirá 1,000 MW de energía limpia, además de 192 MW en baterías, convirtiéndola en la planta más grande de América, ya que operará en un terreno de 2,000 hectáreas; además de convertirse en la quinta a nivel mundial en términos de capacidad de almacenamiento.

Esta planta evitará la emisión de 1.4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que es equivalente a retirar de circulación cerca de 270 mil automóviles.

## 5.2 Evolución y capacidad instalada a largo plazo (2027-2037)

Para el periodo 2027-2037, se prevé la incorporación al SEN de 39,942 MW de tecnologías solares, eólicas, hidroeléctricas, nucleares, bancos de baterías, etc.

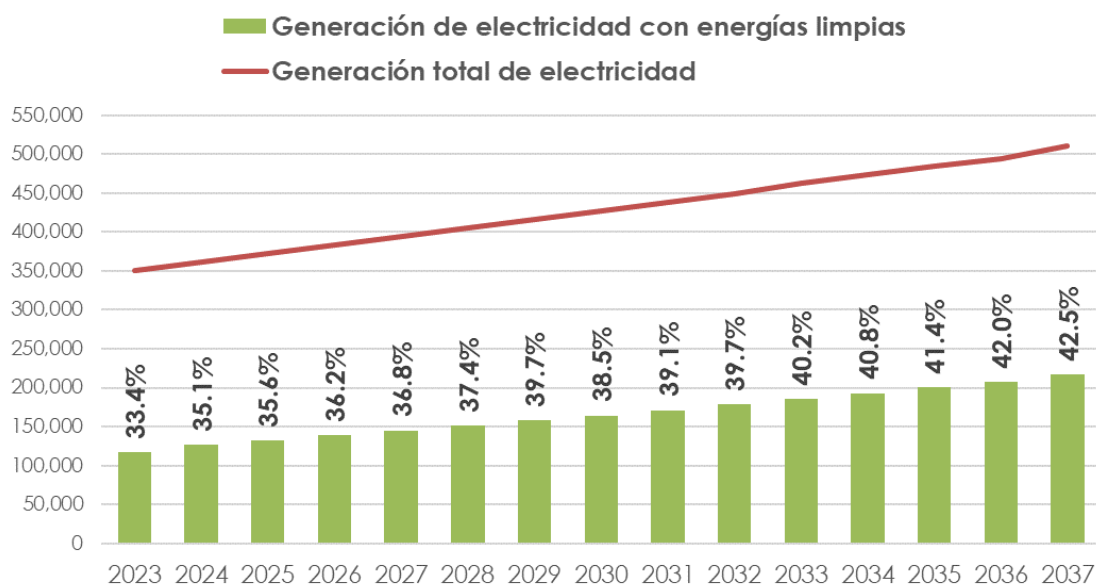
### Porcentaje de adición de capacidad por tipo de tecnología, 2027-2037



Fuente: Elaborado por el CEFP con datos del PRODESEN 2023-2037.

Se espera que para 2037, la generación de electricidad alcance los 511 Terawatts-hora (TWh), un incremento del 45.6 por ciento comparado con 2023. Las tecnologías de ciclo combinado y las energías limpias serán las principales fuentes de esta generación, con una proyección de 217.9 TWh provenientes de energías limpias en 2037, es decir, se estima que el 42.5 por ciento de la energía total sea de energía renovable.

## Participación de energías limpias en la generación de electricidad del SEN, 2023-2037 (Gigawatts-hora y porcentajes)



Fuente: Elaborado por el CEFP con datos del CENACE.

Para asegurar un futuro energético sostenible y alcanzar las metas de energías limpias a largo plazo, es fundamental desarrollar e implementar políticas públicas efectivas en diversas áreas clave, incluyendo el financiamiento adecuado.

La primera área es la investigación, desarrollo e innovación. Es necesario movilizar todos los recursos disponibles para acelerar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, demostrando e implementando innovaciones tecnológicas que son fundamentales para la transición energética. Estas acciones forman la base de una política estatal orientada a las energías limpias.



En segundo lugar, las instituciones juegan un papel central en coordinar el diseño, implementación, operación y evaluación de políticas y proyectos. Es indispensable mejorar y adaptar el marco institucional a las necesidades cambiantes y asegurar una buena coordinación interinstitucional, que incluya la participación del sector privado y otros actores relevantes. Esta colaboración es vital para lograr un consenso y ejecutar efectivamente las políticas y proyectos energéticos.

La inversión inicial es el principal costo de las energías renovables y de la eficiencia energética. Por lo tanto, es necesario asegurar un financiamiento adecuado, facilitando su flujo con los menores costos de transacción y aprovechar las oportunidades que brindan los cambios tecnológicos. Un financiamiento eficiente es esencial para promover la adopción de energías limpias.

Uno de los mayores retos de las energías renovables es el almacenamiento de la electricidad generada. Es fundamental desarrollar capacidades de almacenamiento robustas para fortalecer la generación e incorporación de energías solares y eólicas en la matriz energética y contribuir a la resiliencia energética del país. El almacenamiento adecuado permitirá una integración más eficiente de las energías renovables y mejorará la estabilidad del sistema energético.

### **5.3 Ahorro y uso eficiente de energía**

Por otra parte, para reducir los niveles de contaminación por CO<sub>2</sub>e, el ahorro y uso eficiente de energía son un componente esencial. Para ello, se están implementando acciones específicas en cinco sectores clave: transporte,

industria, edificaciones, servicios públicos municipales y agroindustria. Es fundamental acelerar y dirigir los esfuerzos de eficiencia energética hacia los sectores de transporte e industria, ya que estos dos sectores permitirán alcanzar el 84 por ciento de la reducción del consumo final de energía hacia 2050. Al mismo tiempo, es necesario mantener vigentes las políticas actuales de eficiencia energética en los sectores residencial y comercial-servicios, enfocándose en la adopción de tecnologías más eficientes.

La tendencia hacia la electrificación es especialmente relevante, pues la electricidad es una forma de energía que se controla, transporta y distribuye con mayor facilidad, y es más limpia en el punto de uso en comparación con otros energéticos. Este enfoque hacia la electrificación será un factor determinante para la transición energética y la mitigación del cambio climático, tanto a nivel nacional como internacional.

### **5.3.1 Impacto de la movilidad eléctrica en las emisiones totales de CO2**

Con el propósito de contribuir con el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones contaminantes, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2021-2024, describe las siguientes acciones:

- Impulsar y posicionar a nivel nacional la movilidad eléctrica como una alternativa viable y sostenible, con el fin de promover la mitigación de GEI y carbono negro en el sector transporte.
- Promover la inclusión de normas lineamientos, criterios y/o guías con acciones dirigidas a la reducción de GEI en los programas de

---

ordenamiento territorial, urbano y metropolitano, para el fortalecimiento de la resiliencia en los asentamientos humanos y el territorio.

- Fomentar, en coordinación con los estados y municipios, la construcción de sistemas de transporte colectivo.
- Impulsar e implementar proyectos de infraestructura ferroviaria para el transporte de pasajeros.
- Modificar la norma sobre emisiones de CO2 aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kilogramos (NOM-163 SEMARNAT-SCFI-2023).
- Promover proyectos de transporte público y de carga local de bajo carbono (incluyendo la movilidad eléctrica).
- Reducir las emisiones de CO2 y de contaminantes criterio mediante la operación del programa Transporte Limpio.
- Participar en grupos de trabajo de coordinación estatal y federal para instrumentar, en zonas metropolitanas, proyectos de movilidad sostenible (incluyendo la eléctrica, de conformidad con la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica y planes para disminuir huella de carbono originadas por los trayectos a los centros de trabajo).

Con los esfuerzos coordinados entre el PECC 2021-2024 y la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, se han logrado avances en áreas clave

para la mitigación del cambio climático, mejorando la calidad del aire y reduciendo el impacto ambiental. Entre los principales logros destacan las acciones dirigidas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con un enfoque particular en la descarbonización del sector transporte. Esto incluye la promoción de la movilidad eléctrica y la construcción de la infraestructura necesaria para la recarga de vehículos eléctricos.

En cuanto al transporte público, metrópolis como la Ciudad de México, Guadalajara y Mérida han incorporado un total de 524 autobuses eléctricos en sus sistemas de transporte, contribuyendo a la reducción de emisiones contaminantes. Por ejemplo, en la Ciudad de México, se llevó a cabo la renovación de 413 trolebuses, y se tiene una proyección de alcanzar 500 unidades para finales de 2024.

Para el año 2037, se plantea la integración de alrededor de 6.4 millones de vehículos eléctricos (ligeros, de carga y autobuses), lo que equivaldría al 35.1 por ciento de los vehículos automotores que se comercializarían en ese año. Para determinar el impacto que tendrá esto en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> se estima un modelo logístico. Con este modelo se busca predecir las emisiones de CO<sub>2</sub> basadas en el número de vehículos en circulación, lo que nos permite anticipar el impacto de cambios en la flota vehicular. Al comprender y modelar estas emisiones, es posible evaluar cómo las variaciones en la cantidad y tipo de vehículos afectan las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEM). Además, el modelo permite evaluar impactos al proporcionar información sobre cómo la adopción de vehículos eléctricos y otras tecnologías emergentes pueden reducir las GEM al modificar la tasa de crecimiento y el punto de inflexión en la curva de

emisiones. Esto es esencial para entender el potencial de tecnologías sostenibles para mitigar el cambio climático.

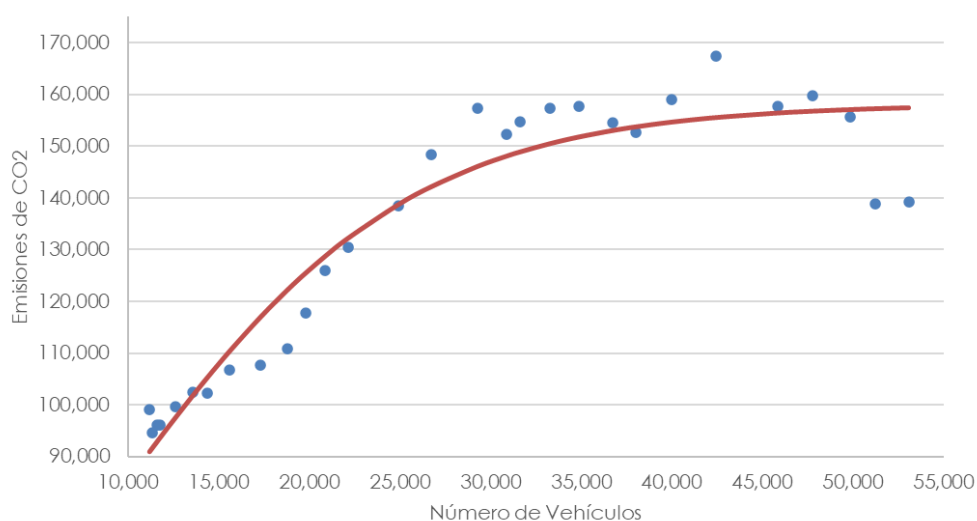
El modelo estima una reducción de 1,042.31 Gigagramos de CO<sub>2</sub>, que equivale aproximadamente a 451.9 millones de litros de gasolina no quemados<sup>8</sup>, lo que representa el 1 por ciento del consumo anual de gasolina en México. Además, el PRODESEN estima que el consumo de energía para la electromovilidad alcanzará 18,000 GWh para el año 2037, lo cual equivaldría al 3.6 por ciento del total de la producción energética proyectada para ese año.

Es importante señalar que, el modelo ilustra que la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector del transporte será un proceso prolongado antes de que los efectos sean perceptibles. Esto se debe principalmente a que la sustitución completa de toda la flota vehicular es un proceso que llevará tiempo, en gran parte debido a los elevados costos asociados con la introducción de nuevas tecnologías. En otras palabras, para lograr una reducción significativa en las emisiones de CO<sub>2</sub>, el modelo sugiere que es necesario renovar toda la flota vehicular. De lo contrario, la curva de estimación (representada en rojo) no mostrará cambios significativos y continuará su tendencia actual.

---

<sup>8</sup> Ver anexo 1.

### Número de vehículos en circulación y emisiones de CO2 (Miles de vehículos y toneladas de dióxido de carbono equivalente)

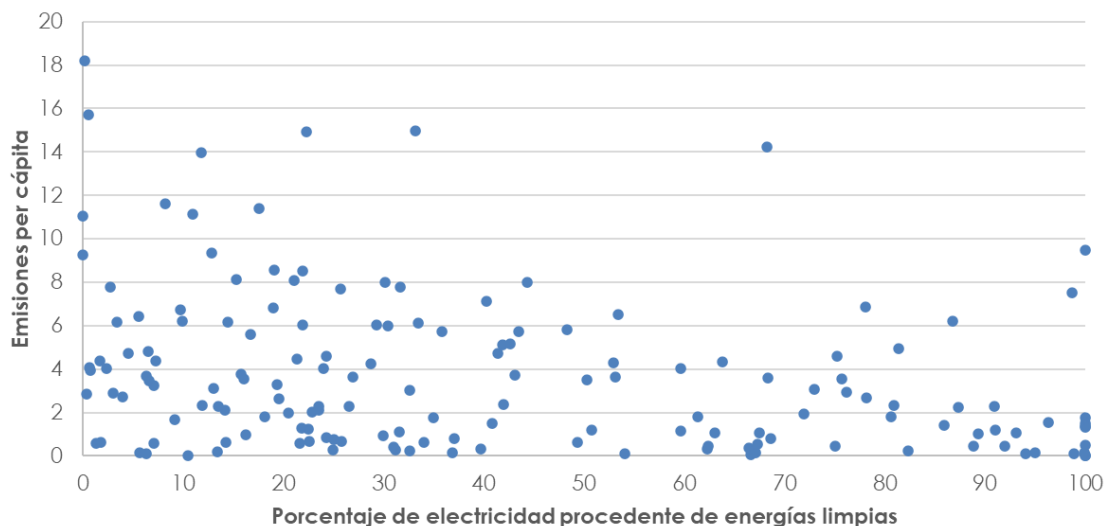


Fuente: Elaborado por el CEFP con datos de INEGI y del INEGYCEI.

### 5.3.2 Análisis del impacto del uso de energías limpias en el sector eléctrico sobre las emisiones de CO2 per cápita

Ahora se realiza la estimación para evaluar el impacto del uso de energías limpias en el sector eléctrico sobre las emisiones de CO2 per cápita. Para ello se utilizó un modelo de regresión lineal en el cual la variable dependiente es la emisión de CO2 per cápita, medida en toneladas, y las variables independientes son el porcentaje de electricidad generada con energías limpias y el PIB per cápita como variable de control.

### Emisiones de CO2 per cápita en toneladas y porcentaje de generación de electricidad a partir de energías renovables, 2022



Fuente: Elaborado por el CEFP con datos de Our World in Data.

El modelo de regresión lineal desarrollado muestra resultados significativos, lo que permite interpretar las relaciones entre las variables de interés.

$$CO2 \text{ per cápita} = 1.93 - 0.028 \text{ electricidad} + 0.0002 \text{ pib\_per\_cápita}$$

El coeficiente asociado al porcentaje de electricidad generada con energías limpias es de -0.028, lo que sugiere que un incremento de uno por ciento en el uso de energías limpias se asocia con una reducción de aproximadamente 2.8 toneladas de CO2 per cápita. Este resultado subraya la importancia de la transición hacia energías más limpias para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, el coeficiente del PIB per cápita es positivo, con un valor de 0.0002, indicando que un aumento en el PIB per cápita está relacionado con un ligero incremento en las emisiones de CO2 per cápita; por lo que resulta indispensable implementar políticas públicas que gestionen un equilibrio entre el crecimiento económico, la seguridad en el suministro de energía y la protección del medio ambiente para garantizar un futuro sostenible.

En conjunto, el modelo explica aproximadamente el 67.49% de la variación en las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, lo que demuestra que las variables incluidas son relevantes y proporcionan un buen ajuste al modelo.

## **6. Conclusiones**

A partir de la primera década de siglo XXI ha aumentado la inversión y adopción de tecnologías renovables como la energía solar, eólica, y geotérmica. Así, para 2022, las energías renovables representaron aproximadamente el 31.2 por ciento de la generación total de electricidad, reflejando un incremento considerable desde el 15.3 por ciento registrado nueve años antes.

Si bien los avances en la diversificación de tecnologías en el sector energético fomentó la infraestructura de energías renovables dentro del territorio nacional, aún persisten varios desafíos en la transición hacia un sistema energético más sostenible. Entre los principales obstáculos se encuentran las barreras regulatorias y financieras, así como la integración de energías intermitentes como la solar y eólica en la red eléctrica nacional. Estos retos son particularmente evidentes en la saturación de proyectos de energías intermitentes en ciertas regiones del país, generando problemas de estabilidad en la red.

De cara al futuro, se pronostica que para 2037, las energías limpias representarán el 42.5 por ciento de la generación total de electricidad, un incremento significativo que subraya la importancia de las políticas públicas en la planificación y expansión de la infraestructura energética. Programas como el PRODESEN juegan un rol crucial en guiar esta transición, con un enfoque en la incorporación de nuevas tecnologías, el fortalecimiento de la



---

red de transmisión, y el impulso de proyectos innovadores como la Central Fotovoltaica Puerto Peñasco.

Un hallazgo clave es el análisis del impacto de la movilidad eléctrica en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. El modelo estima que a partir de 2037 se logrará una reducción de aproximadamente 1,042.31 Gg de CO<sub>2</sub>, lo que equivale a evitar la quema de 451.9 millones de litros de gasolina. Este impacto subraya el potencial de la electrificación del transporte como una estrategia para mitigar el cambio climático en México.

La investigación concluye que, aunque México ha logrado avances significativos en la transición energética, aún enfrenta desafíos importantes que requieren una mayor coordinación interinstitucional, mejoras en el marco regulatorio, y un compromiso continuo con la innovación tecnológica. La transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible no solo es fundamental para cumplir con los compromisos internacionales de reducción de emisiones, sino también para asegurar un futuro energético seguro y resiliente para México.

## Anexo 1: modelo logístico

El modelo logístico es una forma de regresión no lineal que es particularmente útil para capturar relaciones en las que el crecimiento se acelera rápidamente al principio y luego se estabiliza a medida que se alcanza una capacidad máxima. Esta forma es especialmente adecuada para fenómenos en los que hay un punto de saturación o límite superior.

### Fórmula del modelo:

$$CO2 \text{ estimado} = \frac{L}{1 + e^{-k(\text{vehículos} - x_0)}}$$

Donde:

- $L$  es el valor asintótico o la capacidad máxima de emisiones de CO2 que el sistema puede alcanzar.
- $k$  es la tasa de crecimiento, que indica la rapidez con la que se alcanzan las emisiones máximas.
- $x_0$  es el punto de inflexión, el número de vehículos en el que las emisiones de CO2 comienzan a estabilizarse.

Basándose en los datos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) sobre las emisiones netas de CO2 del sector transporte (1A3), específicamente para el subsector de autotransporte (1A3b), y en el número de vehículos en circulación proporcionado por el INEGI en términos anuales desde 1990 hasta 2021, los resultados del modelo son los siguientes:

$$CO2 \text{ estimado} = \frac{158,245.85}{1 + e^{-0.00012098(\text{vehículos} - 8676.70)}}$$

El parámetro  $L$  representa el nivel máximo de emisiones de CO<sub>2</sub> que se podría alcanzar si el número de vehículos crece en exceso. Es decir, es el tope de emisiones al que el sistema podría llegar. En el modelo,  $L$  es 158,245.85, lo que significa que, aunque aumente el número de vehículos, las emisiones de CO<sub>2</sub> no superarían este valor. Esto sugiere que, a cierto punto, factores como la saturación de carreteras o mejoras tecnológicas limitarían el aumento de las emisiones.

El parámetro  $k$  indica la rapidez con la que las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan a medida que incrementa el número de vehículos. En el modelo, el valor de  $k$  es pequeño, lo que sugiere que las emisiones de CO<sub>2</sub> crecen lentamente y no alcanzan su máximo rápidamente. Esto puede indicar que hay mejoras en la eficiencia de los vehículos o que la adopción de nuevos vehículos es lenta.

El parámetro  $x_0$  es el punto en el que la tasa de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> cambia. Es el número de vehículos en el que las emisiones aumentan más rápido antes de empezar a estabilizarse. El valor del parámetro es  $x_0$  es de 8,676 unidades. Esto significa que cuando el número de vehículos alcanza este valor, el aumento de las emisiones se acelera antes de empezar a estabilizarse.

Por otra parte, la SENER estima que en 2037 el total de vehículos en circulación será de 51,521,545 unidades. Con esta información, se procede a estimar la reducción de CO<sub>2</sub> para 2038 utilizando el modelo logístico estimado.

Primero, se calcularán las emisiones de CO<sub>2</sub> considerando que todos los vehículos en circulación son de combustión fósil. Esto nos dará una base para comparar el impacto de la introducción de vehículos eléctricos.

$$CO2 \text{ sin } \textit{el\u00e9ctricos} = \frac{158,245.85}{1 + e^{-0.00012098(51521545-8676.70)}} = 157,363.2 \text{ CO2}$$

Posteriormente, se calcular\u00e1n las emisiones de CO2 teniendo en cuenta la proporci\u00f3n de veh\u00edculos el\u00e9ctricos y de combusti\u00f3n f\u00f3sil proyectados para 2038.

$$CO2 \text{ con } \textit{el\u00e9ctricos} = \frac{158,245.85}{1 + e^{-0.00012098((51521545-6500000)-8676.70)}} = 156,320.9 \text{ CO2}$$

Finalmente, se determinar\u00e1 la diferencia entre las emisiones proyectadas sin veh\u00edculos el\u00e9ctricos y con veh\u00edculos el\u00e9ctricos para obtener la reducci\u00f3n de CO2.

Reducci\u00f3n de CO2=CO2 sin el\u00e9ctricos - CO2 con el\u00e9ctricos

Reducci\u00f3n de CO2=157,363.2-156320.9

Reducci\u00f3n de CO2=1,042.31 CO2

## Fuentes de Información

Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). (2022). Programa para el desarrollo del sistema eléctrico nacional 2022-2036.

<https://www.gob.mx/cenace/documentos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2022-2036>

Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). <https://www.gob.mx/cnh>

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (1917). Artículos 25, 27 y 28. Recuperado de

<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>

Ley de la Industria Eléctrica (LIE). (2014). Recuperado de

<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lielec.htm>

Ley de Transición Energética. (2015). Recuperado de

<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

Ley General de Cambio Climático. (2012). Recuperado de

<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>

Petróleos Mexicanos (PEMEX).

<https://www.pemex.com/Paginas/default.aspx>

Rivera Delgado, D. P., & Carrillo González, G. (2019). La transición energética en México: En el marco de la reforma energética. ResearchGate.

[https://www.researchgate.net/publication/349350131\\_La\\_transicion\\_energetica\\_en\\_Mexico\\_En\\_el\\_marco\\_de\\_la\\_reforma\\_energetica](https://www.researchgate.net/publication/349350131_La_transicion_energetica_en_Mexico_En_el_marco_de_la_reforma_energetica)

Secretaría de Energía (SENER). <https://www.gob.mx/sener>

Secretaría de Energía. (2016). Prospectiva de energías renovables 2016-2030.

Gobierno de México.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva\\_de\\_Energias\\_Renovables\\_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf)

Secretaría de Energía. Estrategia nacional de transición energética y aprovechamiento sustentable de la energía. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sener/documentos/estrategia-nacional-de-transicion-energetica-y-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia>

Secretaría de Energía. La nueva política energética del gobierno de México avanza para garantizar al pueblo la electricidad y los combustibles. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sener/es/articulos/la-nueva-politica-energetica-del-gobierno-de-mexico-avanza-para-garantizar-al-pueblo-la-electricidad-y-los-combustibles?idiom=es>

Secretaría de Energía. (2023). Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2023-2037 (PRODESEN). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2023-2037>

Silva Rodríguez de San Miguel, J. A. (2019). Energía renovable en México: Retos y oportunidades. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/337154895\\_Energia\\_renovable\\_en\\_Mexico\\_Retos\\_y\\_oportunidades](https://www.researchgate.net/publication/337154895_Energia_renovable_en_Mexico_Retos_y_oportunidades)

Villavicencio C., D. H., & Millán, J. C. (2020). La transición energética en México: En el marco de la reforma energética. Caravelle. <https://journals.openedition.org/caravelle/8635?lang=es>



LXVI  
LEGISLATURA

CEFP



[www.cefp.gob.mx](http://www.cefp.gob.mx)



@CEFP\_diputados



@CEFP\_diputados