



SENER

SECRETARÍA DE ENERGÍA

PROGRAMA DE DESARROLLO DEL
**SISTEMA ELÉCTRICO
NACIONAL**

2021-2035



Ciclo Combinado, Sonora, México. **Biomasa**, UNAM, Ciudad de México. **Nucleoeléctrica**, Laguna Verde, Veracruz. **Líneas de transmisión**, Manzanillo, Colima. **Geotermia**, Los Humeros, Michoacán. **Fotovoltaica**. **Eólica**. **Hidroeléctrica**, La Yesca, Nayarit. Comisión Federal de Electricidad.

ÍNDICE

I.	Presentación	5
II.	Marco Legal	9
III.	Infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional	17
	3.1. Conformación actual del Sistema Eléctrico	19
	3.2. Capacidad de transmisión y transformación en el Sistema Eléctrico Nacional	19
	3.3. Principales enlaces internacionales	22
	3.4. Capacidad instalada a la red por las Centrales Eléctricas del Mercado Eléctrico Mayorista	24
	3.5. Evolución de la Capacidad Instalada a la red de las Centrales Eléctricas del Mercado Eléctrico Mayorista 2017-2021	28
	3.6. Principales Centrales Eléctricas del Mercado Eléctrico Mayorista	29
	3.7. Evolución de la Producción de energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista del Sistema Eléctrico Nacional	30
IV.	Demanda y consumo 2020-2034 y 2050	33
	4.1. Industria eléctrica	37
	4.2. Consumo bruto 2020	38
	4.2.1. Consumo final y usuarios 2020	40
	4.2.2. Eficiencia energética	41
	4.2.3. Movilidad y transporte eléctrico	42
	4.2.4. Generación Distribuida	42
	4.3. Demanda máxima 2020	45
	4.3.1. Demanda máxima integrada del Sistema Interconectado Nacional 2020	46
	4.4. Entorno económico 2019	47
	4.5. Pronóstico de demanda y de consumo 2020-2035	48
	4.6. Escenario macroeconómico 2021-2035	49
	4.7. Consumo bruto de energía eléctrica 2021-2035	50
	4.7.1. Consumo final 2021-2035	52
	4.7.2. Pérdidas de energía eléctrica 2020-2034	54
	4.7.3. Movilidad eléctrica	55
	4.7.4. Generación Distribuida 2021-2035	57
	4.8. Demanda máxima 2021-2035	59
	4.9. Análisis del Impacto de la Contingencia Sanitaria 2020	64
	4.9.1. Sectores Económico, Consumo Bruto, y Demanda máxima 2020	64
	4.10. Matriz Energética 2035-2050	68
	4.10.1. Matriz Energética Sector Residencial 2035-2050	70
	4.10.2. Matriz Energética Sector Comercial 2035-2050	73
V.	Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE)	79
	5.1. Generación Distribuida	84
	5.2. Programa Indicativo de incorporación de centrales eléctricas	88
	5.3. Evolución de precios de combustibles	92
	5.4. Margen de reserva	93
	5.5. Emisiones de CO ₂	95



VI.	Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Trasmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista (PAMRNT)	97
6.1.	Objetivos de los proyectos de Ampliación y Modernización	99
6.2.	Proceso de Ampliación de la Red Nacional de Trasmisión y las Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista	100
6.3.	Proceso de Modernización de la Red Nacional de Trasmisión y las Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista	101
6.4.	Proyectos instruidos por la SENER de 2015 a 2021	102
6.4.1.	Proyectos instruidos por SENER en operación	102
6.4.2.	Proyectos instruidos por SENER que entrarán en operación de 2021 a 2026	103
6.5.	Propuesta de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Trasmisión y las Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista	110
6.6.	Proyecto en estudio en la Red Nacional de Trasmisión	158
VII.	Programa de Ampliación y Modernización de las Redes Generales de Distribución no correspondientes al Mercado Eléctrico Mayorista	161
7.1.	Satisfacer la demanda de energía eléctrica en las redes generales de distribución	164
7.1.1.	Atender la demanda de usuarios actuales y nuevos usuarios	164
7.1.2.	Garantizar el acceso abierto a la Generación Distribuida	165
7.1.3.	Electrificación de comunidades rurales y zonas urbanas marginadas	165
7.2.	Incrementar la eficiencia en la distribución de la energía eléctrica	166
7.2.1.	Reducir las pérdidas técnicas y no técnicas	166
7.3.	Incrementar la Calidad, Confiabilidad y seguridad en las Redes Generales de Distribución y en el suministro eléctrico	168
7.3.1.	Modernizar y ampliar la infraestructura de las RGD	168
7.4.	Cumplir con los requisitos del Mercado Eléctrico Mayorista para las Redes Generales de Distribución	174
7.4.1.	Construir la infraestructura para participar en el Mercado Eléctrico	174
7.5.	Transitar hacia una Red Eléctrica Inteligente (REI)	174
7.5.1.	Desarrollar e incorporar sistemas y equipos que permitan una transición a una REI	175
ANEXO		177

1

Presentación



Fotografía 2. Central Ciclo Combinado "Tula". Tula, Hidalgo. 3 de octubre de 2019. CFE.

PRESENTACIÓN

El Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) es el instrumento que detalla la planeación anual del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con un horizonte a quince años y que concreta la política energética nacional en materia de electricidad, alineada al Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019 - 2024.

En este PRODESEN se define la planeación del Sistema Eléctrico Nacional, en la cual se incluyen los elementos relevantes de otros instrumentos de planeación, tales como el Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE), así como los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión (PAMRNT) y de las Redes Generales de Distribución (PAMRGD).

Hay que destacar que el Sistema Eléctrico Nacional es un sistema integrado que da servicio a más de 120 millones de usuarios que habitan en dos millones de kilómetros cuadrados, representando uno de los mayores sistemas eléctricos del mundo.

La ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y de las Redes Generales de Distribución (RGD) requieren de una rigurosa planeación, cuya base legal se establece bajo el mandato y al amparo de nuestra Constitución Política, así como de las subsecuentes disposiciones legales que, derivadas de ésta, rigen en nuestro país, a fin de continuar satisfaciendo:

1. La demanda de energía eléctrica.
2. La reducción de los costos del suministro eléctrico.
3. La conservación y mejora de la Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional, a la vez que se cumple con la protección ambiental.

Bajo este contexto, este documento presenta aquellas propuestas de proyectos de ampliación de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), cumpliendo con los criterios establecidos en la Ley de la Industria Eléctrica y en la Ley de Transición Energética.

Además, de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, el cual tiene como propósito estratégico del Gobierno de México, garantizar el suministro básico de electricidad para toda la población, el campo e industria, a precios accesibles, también es necesario contemplar la recuperación de la capacidad de generación y transmisión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a fin de que sea la empresa del Estado la que genere y respalde al SEN.

Así, la Secretaría de Energía contempla los proyectos estratégicos de infraestructura en el PIIRCE, para fortalecer la política energética nacional, propiciar el desarrollo y operación eficiente de la industria eléctrica y asegurar la Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional.

Bajo esta premisa y de conformidad con la política energética del Gobierno de México, se propone la reactivación del desarrollo de centrales eléctricas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), para lo cual se plantea en el mediano plazo la incorporación de centrales de ciclo combinado, pero principalmente la rehabilitación y modernización de algunas hidroeléctricas en operación, así como el equipamiento de otras en instalaciones hidráulicas existentes.

Con los proyectos que se plantean en el presente documento, la Secretaría de Energía (SENER) dirige la planeación del SEN, garantizando el suministro de energía eléctrica conforme a los requerimientos del desarrollo nacional, coordinando las diferentes fuentes de generación de la CFE y los privados.



La electricidad es un servicio público indispensable y el Gobierno de México debe garantizar su acceso universal, contribuyendo de esta forma al crecimiento económico del país en condiciones de calidad y mejor precio para el consumidor, todo ello bajo los criterios de eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad del sistema eléctrico.

Desde luego, otro de los propósitos de la planeación es cumplir con los compromisos ambientales contraídos con las instancias internacionales en relación con la reducción de emisiones y cambio climático, por lo que se propone el incremento ordenado de la generación eléctrica mediante energías limpias y renovables. El futuro nos demanda hoy que se haga un uso racional y sostenible de todos los recursos energéticos y de todas las tecnologías disponibles para el desarrollo nacional, así como integrar de manera ordenada, sostenible y confiable, las energías limpias y renovables en la matriz energética nacional.

Este PRODESEN es una actualización del documento anterior, versión cuya publicación se tuvo que posponer debido a las limitaciones de trabajo impuestas por la pandemia de COVID-19. Al presentarse esta edición actualizada, se cumple con la normatividad de la planeación en esta materia, en lo concerniente al Sistema Eléctrico Nacional.



2

Marco constitucional y legal



Fotografía 3. Trabajos en torre de transmisión. Acapulco, Guerrero. CFE.

II. MARCO CONSTITUCIONAL Y LEGAL

El Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN), establece los objetivos, metas, estrategias y prioridades que deberán adoptarse para satisfacer la demanda en el Sistema Eléctrico Nacional, procurando que su operación se realice en condiciones de eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad; para lo cual, deberá dar cumplimiento a los objetivos de Energías Limpias y considerar las necesidades de proyectos de inversión que los transportistas y distribuidores deben llevar a cabo.

Está sustentado en los artículos 25, párrafo quinto, 26, 27, párrafo sexto y 28, cuarto párrafo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que establecen los principios de rectoría económica del Estado; planeación del desarrollo nacional; actividades estratégicas y la regulación de actividades económicas no reservadas al Estado.

En materia de energía eléctrica, los artículos 25, párrafo quinto y 27 párrafo sexto de la Carta Magna disponen que la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica corresponden exclusivamente a la Nación.

Además, en el artículo 26 constitucional en su apartado A, se sientan las bases para la organización de un sistema de planeación del desarrollo nacional a través de un Plan Nacional de Desarrollo al que se sujetarán los programas de la Administración Pública Federal. Asimismo, señala que corresponde al Poder Ejecutivo establecer los procedimientos de participación y consulta popular en el sistema nacional de planeación democrática y los criterios para la formulación, instrumentación, control y evaluación del plan y los programas de desarrollo, así como los órganos responsables del proceso de planeación.

Por su parte, el artículo 28, párrafo cuarto constitucional, prevé que la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, la generación de energía nuclear y el servicio público de transmisión

y distribución de energía eléctrica son áreas estratégicas, cuyas funciones le corresponden a la Nación, de manera exclusiva sin que ello constituya monopolios.

Adicionalmente, deben destacarse las siguientes disposiciones que rigen las actividades que se encuentran sujetas a la planeación del Sistema Eléctrico Nacional y que constituyen la materia objeto del PRODESEN:

- La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF) en su artículo 9 confiere a las dependencias y entidades de la Administración Pública Centralizada y Paraestatal, la facultad de conducir sus actividades en forma programada, con base en las políticas que establezca el Ejecutivo Federal para el logro de los objetivos y prioridades de la planeación nacional del desarrollo. Asimismo, su artículo 33, fracciones I, y V, faculta a la Secretaría de Energía para establecer, conducir y coordinar la política energética del país, para lo cual podrá realizar y promover programas, proyectos, estudios e investigaciones sobre las materias de su competencia; así como para llevar a cabo la planeación energética a mediano y largo plazos y fijar las directrices económicas y sociales para el sector energético nacional.
- Ley de Planeación (LP), en su artículo 4, señala que es responsabilidad del Ejecutivo Federal conducir la planeación nacional del desarrollo con la participación democrática de la sociedad. Asimismo, su artículo 16, fracción VIII, confiere a las dependencias de la Administración Pública Federal la facultad para coordinar la elaboración y ejecución de los programas especiales y regionales que correspondan conforme a su ámbito de atribuciones.
- La Ley de la Industria Eléctrica (LIE) contiene, entre otras disposiciones, lo siguiente:
 - a. Define en su artículo 3, fracción XXXII al PRODESEN como el documento expedido por la Secretaría de Energía que contiene la planeación del Sistema Eléctrico Nacional y que reúne los elementos relevantes de los programas indicativos para la instalación y



retiro de Centrales Eléctricas, así como los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución;

b. Faculta en su artículo 11, fracción III, a la Secretaría de Energía para dirigir el proceso de planeación y elaboración del PRODESEN; como un instrumento de planeación a largo plazo que contemple los requerimientos de infraestructura necesaria para satisfacer el consumo y demanda de energía eléctrica del país, así como las estrategias que permitirán incrementar la confiabilidad y el desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, a efecto de satisfacer las necesidades de energía eléctrica para el desarrollo social y económico del país, garantizando el acceso universal a precios asequibles para la población y buscar disminuir la dependencia energética.

c. Señala en sus artículos 14 y 68 los principios que rigen el PRODESEN, en los que se considera procurar la operación del Sistema Eléctrico Nacional en condiciones de eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad; incluir los elementos de la Red Eléctrica Inteligente; coordinarse con el Fondo de Servicio Universal Eléctrico; incorporar mecanismos para conocer la opinión de los Participantes del Mercado y de los interesados en desarrollar proyectos de infraestructura eléctrica, y considerar la expansión y modernización de las Redes Generales de Distribución que se requieran para interconectar la Generación Distribuida.

d. La Ley de Transición Energética (LTE), en su artículo 14, fracción XVI, faculta a la Secretaría de Energía para promover la construcción de las obras de infraestructura eléctrica que faciliten la interconexión de Energías Limpias al Sistema Eléctrico Nacional. Asimismo, señala en su artículo 29, fracciones II y V, que la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios debe establecer un análisis exhaustivo de la evolución tecnológica en materia de generación eléctrica y reducción de costos, así como otros elementos que puedan aportar un valor añadido al Sistema Eléctrico Nacional; por otra parte, establece que la Estrategia mencionada deberá expresar mediante indicadores, la situación de las Energías Limpias y su penetración en el Sistema Eléctrico Nacional.

- La Ley de Energía Geotérmica (LEG) en su artículo 7, fracción II, establece que la Secretaría de Energía está facultada para elaborar y dar seguimiento a los programas institucionales, de fomento a la industria geotérmica.

- La Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear (LRMN) en su artículo 12, señala que las actividades que conforman la industria nuclear, entre las que se encuentra el aprovechamiento de los combustibles nucleares con fines energéticos como lo es la generación de electricidad, se llevarán a cabo en los términos de los programas que apruebe el Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría de Energía.

- La Ley General de Cambio Climático (LGCC) en su artículo 7, fracción XXIII, faculta a la federación para desarrollar programas y proyectos integrales de mitigación y adaptación al cambio climático en materia de energía eléctrica, para lograr el uso eficiente y sustentable de los recursos energéticos fósiles y renovables del país. Asimismo, en su artículo 45 dispone que la Secretaría de Energía establecerá políticas e incentivos para promover la utilización de tecnologías de bajas emisiones de carbono, con el objetivo de impulsar la transición a modelos de generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles a tecnologías que generen menores emisiones.

- Por último, el Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica (RLIE) establece en su artículo 5, que para la elaboración del PRODESEN deberán considerarse los pronósticos de la demanda eléctrica y los precios de los insumos primarios de la Industria Eléctrica; la coordinación de los programas para la instalación y retiro de Centrales Eléctricas con el desarrollo de los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución; la política de Confiabilidad; los programas para la instalación y retiro de Centrales Eléctricas que prevea la infraestructura necesaria para asegurar la Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional; la coordinación con el programa de expansión de la red nacional de gasoductos y los mecanismos de promoción de las Energías Limpias, así como el análisis costo beneficio integral de las distintas alternativas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución. Asimismo, en su artículo 9 destaca que, en el mes de mayo de cada año la Secretaría de Energía publicará el PRODESEN, una vez autorizados los programas de ampliación y modernización de la Red

Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución.

Alcance

De acuerdo con el artículo 5 del RLIE, para la elaboración del PRODESEN, se deberá considerar:

- Los aspectos más relevantes del Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE), de los que se desprenda la infraestructura necesaria para asegurar la confiabilidad del SEN, de acuerdo con la Política de Confiabilidad establecida por la SENER, y
- Los aspectos más relevantes de los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución que pertenecen al Mercado Eléctrico Mayorista (PAMRNT) y las Redes Generales de Distribución que no pertenecen al Mercado Eléctrico Mayorista (PAMRGD), tomando en cuenta el análisis costo beneficio integral de las distintas alternativas de ampliación y modernización previstos en dichos programas.

Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE)

Se desarrolla anualmente, en el que se consideran los proyectos de Centrales Eléctricas que se incorporarían al Sistema Eléctrico Nacional en los próximos 15 años que minimicen el valor presente neto de los costos totales del mismo, especificando su capacidad, tipo de tecnología y ubicación; de igual forma; así como el retiro indicativo de las unidades de generación o Centrales Eléctricas que los generadores están obligados a notificar, en términos del artículo 18, fracción IV de la LIE.

De acuerdo con lo previsto en el artículo 13 de la LIE, el objetivo del Programa es promover la instalación de los recursos suficientes para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Nacional y cumplir con los objetivos de Energías Limpias, tomando en consideración las metas previstas en el artículo Tercero Transitorio de la LTE, en el que se instruyó a la SENER fijar como meta una participación mínima en la generación de energía eléctrica del 25% para el ejercicio 2018, del 30% para el 2021 y del 35% para el ejercicio 2024.

El PIIRCE sirve de base para que el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) esté en posibilidad de integrar los casos base, a partir de los cuales

modelará la expansión óptima para la Red Nacional de Transmisión.

Programas de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión (PAMRNT) y de las Redes Generales de Distribución (PAMRGD)

Se elaboran anualmente, mediante los cuales se busca minimizar los costos de prestación del servicio, reduciendo los costos de congestión, incentivando una expansión eficiente de la generación, y considerando los criterios de Calidad, Confiabilidad, Continuidad y seguridad de la red; durante su elaboración, se deben tomar en cuenta los programas previos y las obras e inversiones que se encuentren en ejecución, en términos del artículo 9 del RLIE.

En el desarrollo de dichos programas se incluyen elementos de la Red Eléctrica Inteligente y se busca una coordinación con los programas promovidos por el Fondo de Servicio Universal Eléctrico, tal y como se encuentra previsto en el artículo 39 de la LTE.

Durante su proceso de elaboración se prevén mecanismos de participación para que los Participantes del Mercado e interesados en desarrollar proyectos de infraestructura eléctrica puedan emitir su opinión sobre los mismos.

Acuerdos y tratados Internacionales

Como parte de los compromisos asumidos por el Estado Mexicano, plasmados en Acuerdos y Tratados Internacionales, el PRODESEN tiene sustento en los instrumentos siguientes:

- La Declaración Universal de los Derechos Humanos en su artículo 25, estipula que toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios; lo que guarda relación con el objetivos del PRODESEN, que es procurar la operación del Sistema Eléctrico Nacional en condiciones de eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad, de forma tal que la población pueda tener acceso a la energía eléctrica, y que debe entenderse como condición indispensable para tener un nivel de vida adecuado.



- En el mismo sentido, el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales en su artículo 11, párrafo 1, reconoce el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado para sí y su familia, incluso alimentación, vestido y vivienda adecuados y a una mejora continua de las condiciones de existencia.
- De manera complementaria a lo anterior, la Convención sobre la Eliminación de todas las formas de Discriminación contra la Mujer, en su artículo 14, párrafo segundo, inciso h), mandata a los Estados Parte a adoptar todas las medidas apropiadas para eliminar la discriminación contra la mujer en las zonas rurales a fin de asegurar en condiciones de igualdad entre hombres y mujeres, asegurando el derecho a gozar de condiciones de vida adecuadas, particularmente en las esferas de la vivienda, los servicios sanitarios, la electricidad y el abastecimiento de agua, el transporte y las comunicaciones.

Compromisos internacionales adquiridos por México para el cambio de la matriz energética y la reducción de gases de efecto invernadero

La política energética en materia de electricidad establecida en el PRODESEN 2021-2035, adopta las obligaciones y compromisos de los programas y demás instrumentos de mitigación que se han desarrollado a partir de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París y la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible que han sido ratificados por nuestro país.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

La CMNUCC fue firmada por el Gobierno de México el 13 de junio de 1992 y aprobada unánimemente por la Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión el 3 de diciembre del mismo año.

La Convención entró en vigor en 1994 y ha sido ratificada por 195 países (Partes de la Convención), que han establecido el objetivo último de lograr la estabilización de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Además, este nivel debe lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos

no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Para que la aplicación de la Convención sea efectiva, se elaboran propuestas que son aprobadas por todas las Partes por consenso en las Conferencias de las Partes (COP), órgano Supremo en el que se reúnen las Partes de la Convención para la adopción de decisiones. La COP se reúne una vez al año desde 1995 y tienen el mandato de revisar la implementación de la Convención y negociar nuevos compromisos.

Protocolo de Kioto

El Protocolo es un instrumento jurídicamente vinculante que compromete a los países industrializados a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): dióxido de carbono, gas metano y óxido nitroso. Además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre.

Asimismo, el Protocolo decretó una serie de mecanismos de mercado para facilitar el cumplimiento de los compromisos de mitigación de los países industrializados y promover el desarrollo sustentable en los países en vías de industrialización. Estos mecanismos son: Comercio de Derecho de Emisiones, Implementación Conjunta y Mecanismos para un Desarrollo Limpio.

Acuerdo de París

Este acuerdo compromete a las naciones, tanto desarrolladas como en vía de desarrollo, a trabajar unidas, de manera ambiciosa, progresiva, equitativa y transparente, para limitar el incremento de la temperatura global por debajo de 1.5 °C.

Este instrumento dispone en su artículo 7, párrafo 9, que cada una de las Partes deberá emprender procesos de planificación de la adaptación al cambio climático y adoptar medidas, como la formulación o mejora de los planes, políticas y/o contribuciones pertinentes, podrán incluir la formulación y ejecución de los planes nacionales de adaptación, así como la vigilancia y evaluación de dichos planes, así como de los programas y medidas de adaptación.

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

La Agenda plantea 17 Objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.



Además de poner fin a la pobreza en el mundo, los Objetivos incluyen, entre otros: asegurar el acceso al agua y la energía; promover el crecimiento económico sostenido; adoptar medidas urgentes contra el cambio climático; promover la paz; y facilitar el acceso a la justicia.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el organismo internacional encargado de evaluar la información

científica en materia de cambio climático y de sus potenciales impactos ambientales y socioeconómicos.

Los trabajos del Panel se realizan a través de un proceso de revisión de las contribuciones voluntarias de investigación de miles de científicos de todo el mundo que, de manera periódica, se constituyen en reportes de evaluación que consolidan la información científica más actualizada y se presentan como insumos para quienes toman las decisiones.



Fotografía 4. Central Hidroeléctrica, "Aguamilpa Solidaridad". Río Grande de Santiago, Municipio de Tepic, Nayarit. 18 de julio de 2019. CFE.





Fotografía 5. Central Geotérmica "Los Humeros". Puebla. CFE.

3

Infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional



Fotografía 6. Torre de transmisión, Campo eólico. Sureste, Oaxaca.
CFE.

3. Infraestructura del Sistema Eléctrico Nacional

3.1 Conformación actual del Sistema Eléctrico por Gerencias de Control Regional

El SEN está conformado por nueve regiones de control, y un pequeño sistema eléctrico aislado, como se muestra en la figura 3.1.

FIGURA 3.1 REGIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL



Fuente: SENER con información de CENACE

La operación de estas regiones está bajo la responsabilidad de nueve Centros de Control Regional ubicados en las ciudades de México, Puebla, Guadalajara, Mérida, Hermosillo, Gómez Palacio, Monterrey, Mexicali, La Paz y un pequeño centro de control en Santa Rosalía Baja California Sur, para el Sistema Mulegá. El Centro Nacional en la Ciudad de México en conjunto con el Centro Nacional Alterno, ubicado en la ciudad de Puebla coordinan el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y la operación segura y confiable del SEN.

El Sistema Interconectado Nacional (SIN), está integrado por las siete regiones: Central, Oriental, Occidental, Noroeste, Norte, Noreste y Peninsular. En ellas se comparten los recursos y reservas de capacidad ante la diversidad de demandas y situaciones operativas; esto permite el intercambio

de energía para lograr un funcionamiento más económico y confiable en su conjunto.

El Sistema Interconectado Baja California, opera interconectado a la red eléctrica de la región Oeste de EUA -Western Electricity Coordinating Council (WECC, por sus siglas en inglés) por medio de dos líneas de transmisión conectadas a un nivel de tensión de 230 kV en corriente alterna.

Mientras que los Sistemas Interconectados de Baja California Sur y Mulegá están eléctricamente aislados entre sí, así como del resto de la red eléctrica nacional.

3.2 Capacidad de transmisión y transformación en el Sistema Eléctrico Nacional

La red de transmisión actual se ha desarrollado principalmente por la Comisión Federal de Electricidad.

La expansión de la red se ha llevado a cabo, considerando la magnitud y dispersión geográfica de la demanda, así como la ubicación de las Centrales Eléctricas. En el futuro, la construcción de las redes de transmisión se llevará a cabo para continuar atendiendo el suministro de energía eléctrica en el país y promover el aprovechamiento de los recursos energéticos del país, así como para garantizar los flujos de energía requeridos por el MEM, considerando su rentabilidad económica y garantizar la Confiabilidad del SEN.

El SEN está constituido por redes eléctricas en diferentes niveles de tensión:

- Red Nacional de Transmisión (RNT): Sistema integrado por las redes eléctricas que se utilizan para transportar energía a las Redes Generales de Distribución y a los usuarios que por las características de sus instalaciones lo requieran, así como las interconexiones a los sistemas eléctricos extranjeros que determine la Secretaría de Energía. Incluye las tensiones iguales o mayores a 69 kV.



- **Redes Generales de Distribución (RGD):** Redes eléctricas que se utilizan para distribuir energía eléctrica al público en general; están integradas por las redes en media tensión, cuyo Suministro Eléctrico ocurre a niveles mayores a 1 kV y menores a 69 kV, así como las redes en baja tensión en las cuales el Suministro Eléctrico es igual o menor a 1 kV.
- **Redes Particulares:** Redes eléctricas que no forman parte de la Red Nacional de Transmisión o de las Redes Generales de Distribución. No serán incluidas en el documento.

Al 31 de diciembre de 2020, en la RNT se tenían 109,023 km de líneas, 0.10% más que en 2019. Al 31 de diciembre de 2020, se registró un crecimiento de 115.1 km de líneas de transmisión con respecto al 2019 (65.9 km en 230 kV, 47.3 km en 115 kV y 1.9 km en 400 kV). El cuadro 3.1 muestra los kilómetros de líneas de transmisión por nivel de tensión de 2018 a 2020.

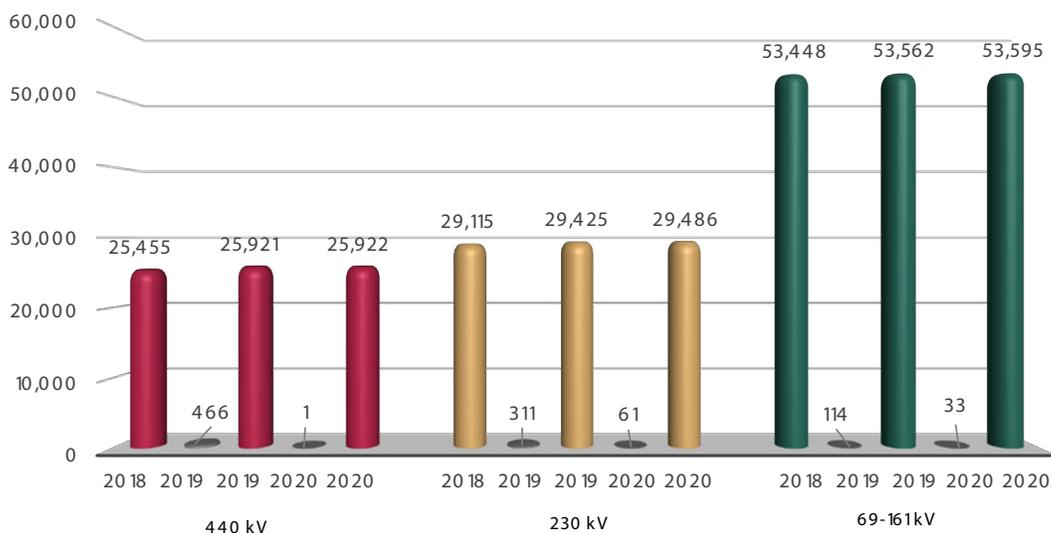
En la figura 3.2, muestra las adiciones de kilómetros de líneas de transmisión por nivel de tensión de 2018 a 2020.

CUADRO 3.1 INFRAESTRUCTURA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN POR NIVEL DE TENSIÓN

NIVEL DE TENSIÓN	LONGITUD (KM) 2018	LONGITUD (KM) 2019	TCA 2018-2019 (%)	LONGITUD (KM) 2020	TCA 2019-2020 (%)
TRANSMISIÓN 161 A 400 KV	55,089	55,865	1.40%	55,933	0.10%
400 kV	25,455	25,921	1.80%	25,922	0.00%
230 kV	29,115	29,425	1.10%	29,491	0.20%
161 kV	519	519	0.00%	519.2	0.00%
TRANSMISIÓN 69 A 138 KV	52,930	53,044	0.20%	53,090	0.10%
138 kV	1,779	1,779	0.00%	1,779	0.00%
115 kV	48,013	48,127	0.20%	48,174	0.10%
85 kV	795	795	0.00%	795	0.00%
69 kV	2,343	2,343	0.00%	2,343	0.00%
TOTAL	108,019	108,908	0.80%	109,023	0.10%

Fuente: SENER con información de CFE y CENACE

FIGURA 3.2. ADICIONES EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSMISIÓN DE LA RNT EN 2019-2020 (KM)



Fuente: SENER con información de CFE y CENACE

En subestaciones eléctricas de la RNT y RGD del MEM, hubo un crecimiento de 4,194 MVA en bancos de transformación de 2018 a 2020, de los cuales 1,664 MVA corresponden a transformación de la RNT y 2,530 MVA corresponde a transformación de la RGD del MEM.

En el cuadro 3.2 muestra un resumen de las adiciones por año y en el cuadro 3.3 la infraestructura de la RGD no del MEM. En la figura 3.3 se muestra la red troncal de transmisión, considerando desde 115 kV hasta 400 kV. En la Península de Baja California, se tiene tres sistemas eléctricos aislados eléctricamente del SIN.

CUADRO 3.2 ADICIONES EN INFRAESTRUCTURA DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE LA RNT Y RGD

NIVEL DE TENSIÓN	CAPACIDAD DE TRANSFORMACIÓN (MVA) 2018	CAPACIDAD DE TRANSFORMACIÓN (MVA) 2019	TCA 2018-2019 (%)	CAPACIDAD DE TRANSFORMACIÓN (MVA) 2020	TCA 2019-2020 (%)
RNT	113,143	114,707	1.40%	114,807	0.10%
RGD del MEM	72,662	74,007	1.90%	75,192	1.60%
TOTAL	185,805	188,714	1.60%	189,999	0.70%

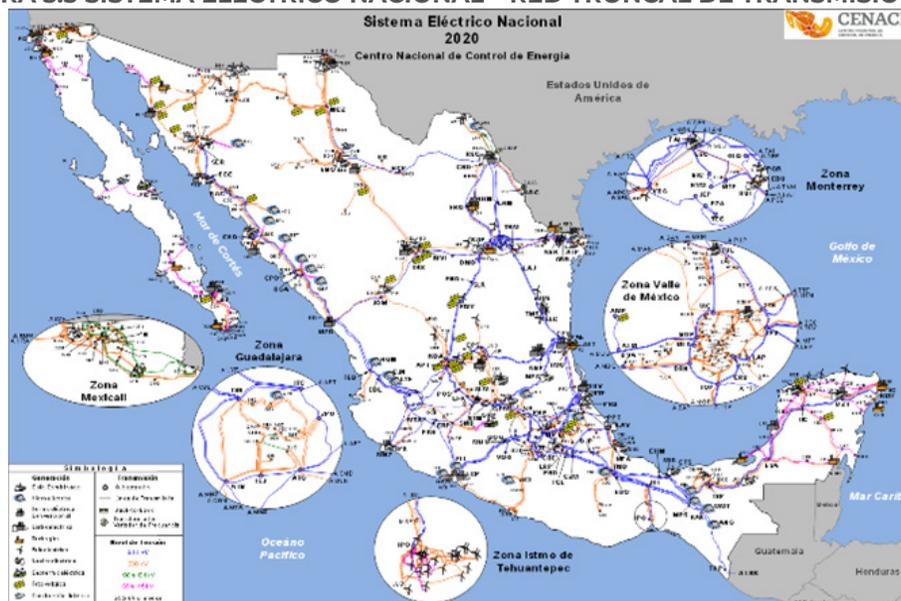
Fuente: SENER con información de CFE y CENACE

CUADRO 3.3 INFRAESTRUCTURA DE LA RGD NO DEL MEM
INFRAESTRUCTURA DE DISTRIBUCIÓN

	2020
Cantidad de Circuitos Media Tensión	11,645
Longitud de líneas de media tensión en distribución (km) 2.4 a 34 kV	536,763
Longitud de líneas de baja tensión en distribución (km) menor a 2.4 kV	333,528
Capacidad instalada en redes de distribución (MVA)	56,721
Transformadores en Redes de distribución de media a baja tensión	1,531,691

Fuente: SENER con información de CFE

FIGURA 3.3 SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL – RED TRONCAL DE TRANSMISIÓN 2020



Fuente: CENACE



3.3 Principales enlaces internacionales

Los principales enlaces internacionales y sus capacidades se presentan en la figura 3.4. Con Texas, Estados Unidos de América (EE. UU.), se tienen tres enlaces asíncronos con una capacidad total de 436 MW.

Con Texas, EE. UU., se tienen dos enlaces en el nivel de tensión de 115 kV que operan con carga aislada entre Ciudad Juárez, Chihuahua, y El Paso, Texas, EE. UU. En Matamoros, Tamaulipas se cuenta con dos enlaces que operan con carga aislada con Brownsville, Texas, EE. UU.

Con Centroamérica se tienen dos enlaces internacionales síncronos, uno con Guatemala en 400 kV y el otro con Belice en 115 kV.

Durante 2017, se inició oficialmente la operación comercial de una Central Eléctrica de generación instalada en Texas, EE. UU., con una capacidad de 540 MW y operando radialmente al SIN. Aunque en un principio, operó con permiso como importador, actualmente entrega el total de su energía al MEM con permiso como Generador al amparo de la LIE.

En el estado de Baja California se tienen dos Centrales Eléctricas de ciclo combinado y una eólica que operan con permiso como Exportador, están ubicadas en territorio nacional, y conectadas directamente a la WECC. Entre el Sistema Interconectado Baja California y el WECC se tienen dos enlaces síncronos operando en 230 kV.

FIGURA 3.4. SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL CAPACIDAD DE LAS INTERCONEXIONES INTERNACIONALES 2020

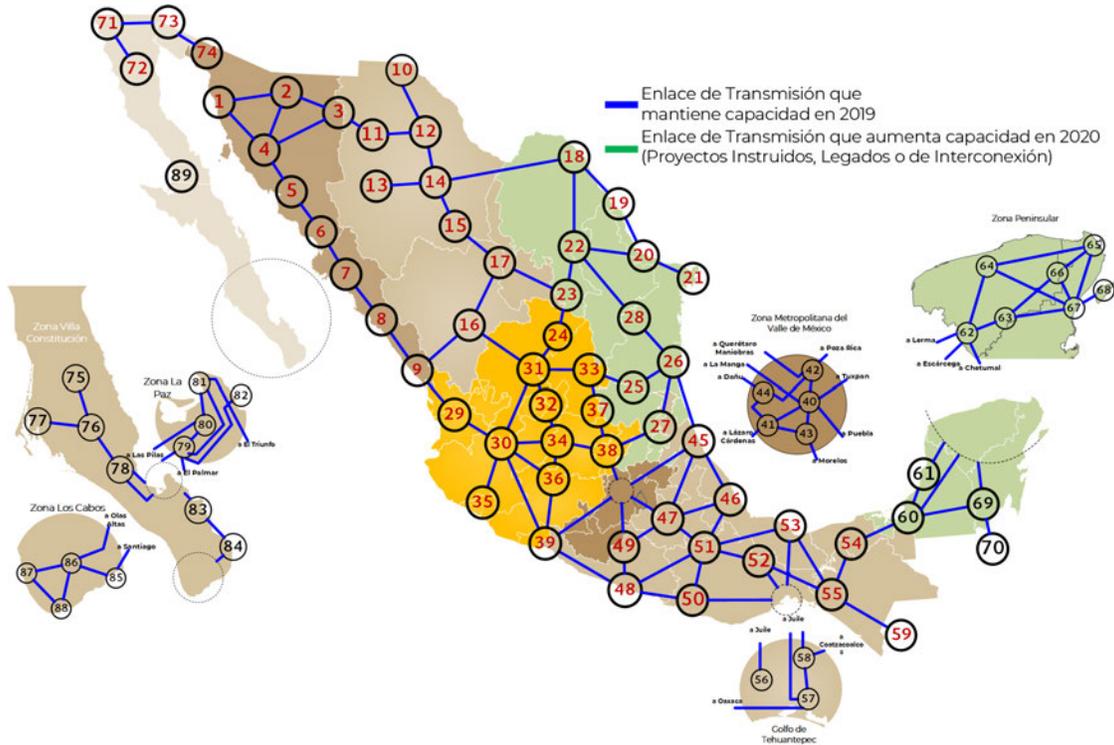


Fuente: Elaborado por SENER con información de CENACE

En la figura 3.5 se presentan los elementos de los enlaces entre regiones en 2020 con los que el CENACE realiza las evaluaciones económicas

de los proyectos propuestos de ampliación o modernización, para más información ver Anexo 3.1.

FIGURA 3.5. ENLACES ENTRE REGIONES AL 31 DE DICIEMBRE DE 2020



Fuente: Elaborado por SENER con información de CENACE



Fotografía 7. Torres de transmisión, Manzanillo, Colima. CFE.



3.4 Capacidad instalada a la red por las Centrales Eléctricas del Mercado Eléctrico Mayorista

A continuación, se presentan la capacidad instalada a la red de las Centrales Eléctricas pertenecientes a la CFE, Productores Independientes de Energía Eléctrica (PIE), Autoabastecimiento (AU), Cogeneración (COG), Pequeña Producción (PP), Importación (IMP), Exportación (EXP) y Usos Propios Continuos (UPC) del SEN al 30 de abril de 2021, cuya infraestructura fue construida al amparo de la abrogada Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Así como, la capacidad instalada bajo el amparo de la LIE, relacionada con las Centrales Eléctricas con permiso como Generación.

Al cierre del 2020, la capacidad entregada a la red en operación comercial de Centrales Eléctricas de la CFE, los PIE y del resto de los permisionarios fue de 83,121 MW, mientras que al 30 de abril de 2021 se incrementó hasta 89,479 MW considerando las unidades de Central Eléctrica en operación y en pruebas, lo cual refleja un incremento de 7.65% con respecto al 2020. Este incremento se debe principalmente, a adiciones y Centrales Eléctricas periodo de pruebas; como ciclos combinados (3,113 MW), eólicas (1,187 MW) y fotovoltaicas (1,876 MW).

En el cuadro 3.4 se presenta la capacidad instalada en el SEN por los principales tipos de tecnologías para el 2019, 2020 y al 30 de abril de 2021. En la figura 3.6 presenta las adiciones de capacidad instalada en operación y en pruebas al 30 de abril de 2021.

CUADRO 3.4. ENLACES ENTRE REGIONES AL 31 DE DICIEMBRE DE 2020

TECNOLOGÍA	2019	2020 ^{1/}	2021 ^{6/}
Hidroeléctrica	12,612	12,612	12,614
Geotermoeléctrica	899	951	976
Eoloeléctrica	6,050	6,504	7,691
Fotovoltaica	3,646	5,149	7,026
Bioenergía ^{2/}	375	378	408
SUMA LIMPIA RENOVABLE	23,582	25,594	28,714
Nucleoeléctrica	1,608	1,608	1,608
Cogeneración Eficiente ^{5/}	1,710	2,305	2,309
Frenos Regenerativos			
SUMA LIMPIA NO RENOVABLE	3,318	3,913	3,917
TOTAL DE CAPACIDAD DE ENERGÍA LIMPIA	26,900	29,506	32,632
PORCIENTO	34.29	35.50	36.47
Ciclo combinado	30,402	31,948	35,060
Térmica convencional ^{3/}	11,831	11,809	11,809
Turbogás ^{4/}	2,960	3,545	3,781
Combustión interna	891	850	734
Carboeléctrica	5,463	5,463	5,463
TOTAL	78,447	83,121	89,479

^{1/} Capacidad instalada de la CFE y del resto de los permisionarios, 31 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

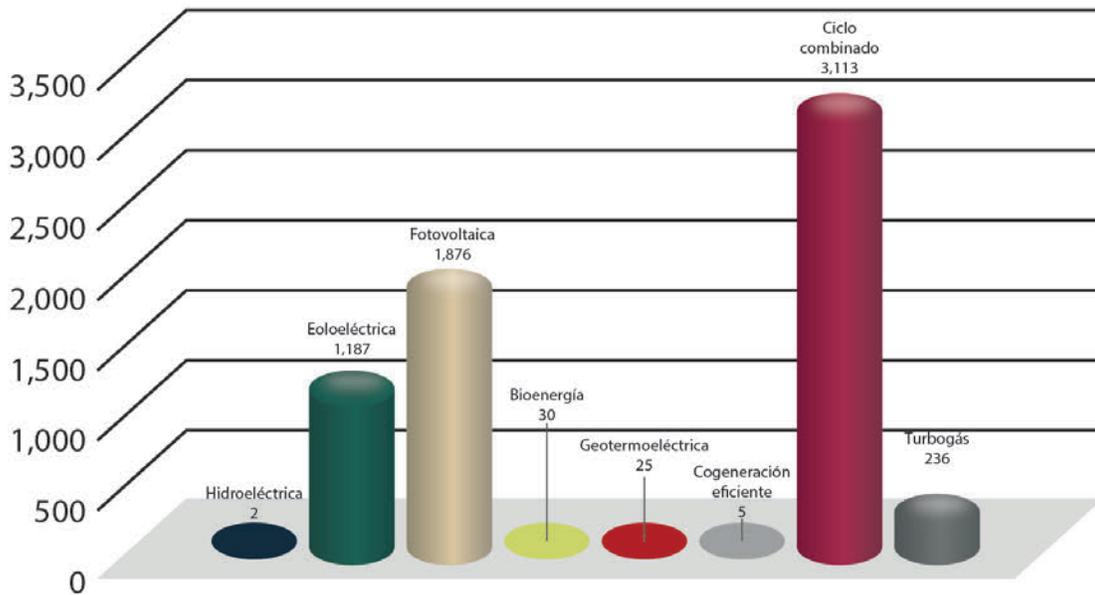
^{4/} incluye plantas móviles

^{5/} Con base a la información del 21-mar-2021, se modificaron las Centrales Eléctricas de cogeneración que tienen Certificado de Energía Limpia a cogeneración eficiente CEL.

^{6/} Capacidad instalada al 30 de abril de 2021, incluye Centrales Eléctricas en operación y en pruebas.

Fuente: SENER con información CENACE

FIGURA 3.6. ADICIONES DE CAPACIDAD INSTALADA, ENERO - ABRIL DE 2021 (MW)



Fuente: SENER con información de CENACE

En el año 2020, la capacidad instalada de las Centrales Eléctricas de Energía Limpia tales como, hidroeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas, fotovoltaicas y de bioenergía, fue de 25,594 MW, y al 30 de abril de 2021 se tiene 28,714 MW; un incremento del 12.19% con respecto al 2020. Siendo las Centrales Eléctricas con Energía Limpia Intermitente eólicas y fotovoltaicas las principales fuentes de tal incremento, considerando las Centrales Eléctricas en operación y en pruebas.

En la figura 3.7 se presenta la capacidad instalada por modalidad al 30 de abril de 2021. Para más detalle, ver Anexo 3.2 y derivados.

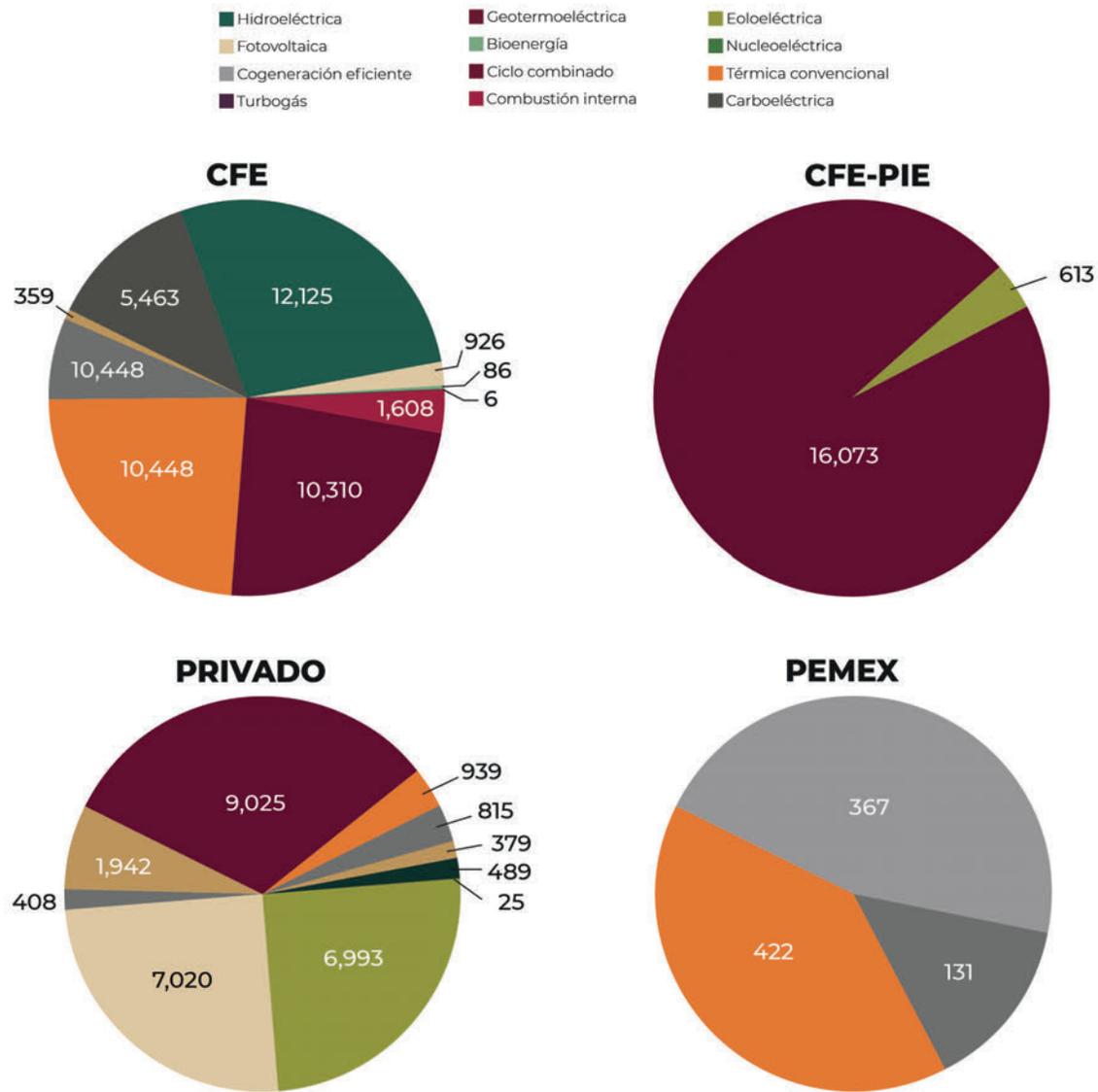
Al 30 de abril de 2021, la CFE tiene 44,835 MW y 16,689 MW para los PIE; mientras que el sector Privado tiene una capacidad instalada de 27,034 y PEMEX 921 MW; Centrales Eléctricas en operación y en pruebas.



Fotografía 8. Turbogenerador, Central termoeléctrica, "Salamanca". Salamanca, Guanajuato. CFE.

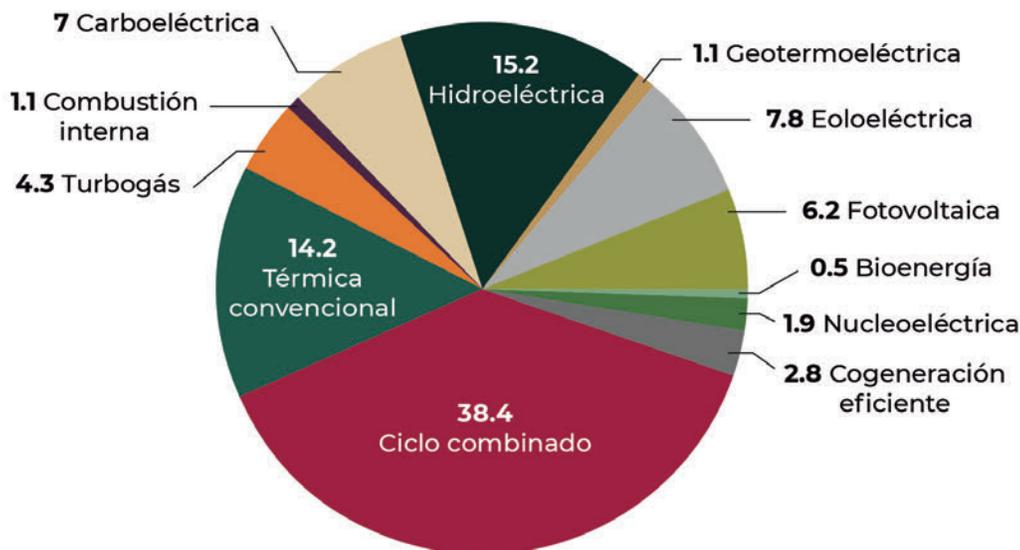


FIGURA 3.7. CAPACIDAD INSTALADA DE LA CFE Y DEL RESTO DE LOS PERMISIONARIOS (MW)



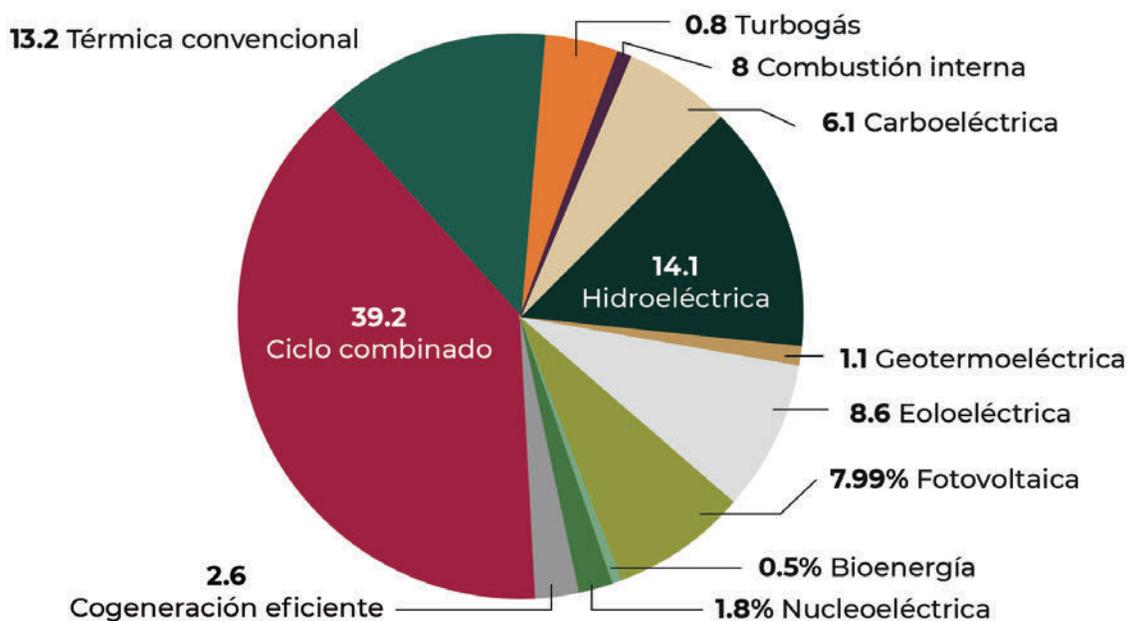
Las figuras 3.8 y 3.9 muestran el porcentaje de la capacidad instalada por tipo de tecnología al 31 de diciembre de 2020 y al 30 de abril de 2021, respectivamente.

FIGURA 3.8. PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO DE TECNOLOGÍA AL 31 DE DICIEMBRE DE 2020



Fuente: SENER con información de CENACE

FIGURA 3.9. PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO DE TECNOLOGÍA AL 30 DE ABRIL DE 2021 (INCLUYE UNIDADES EN PRUEBA)



Fuente: SENER con información de CENACE



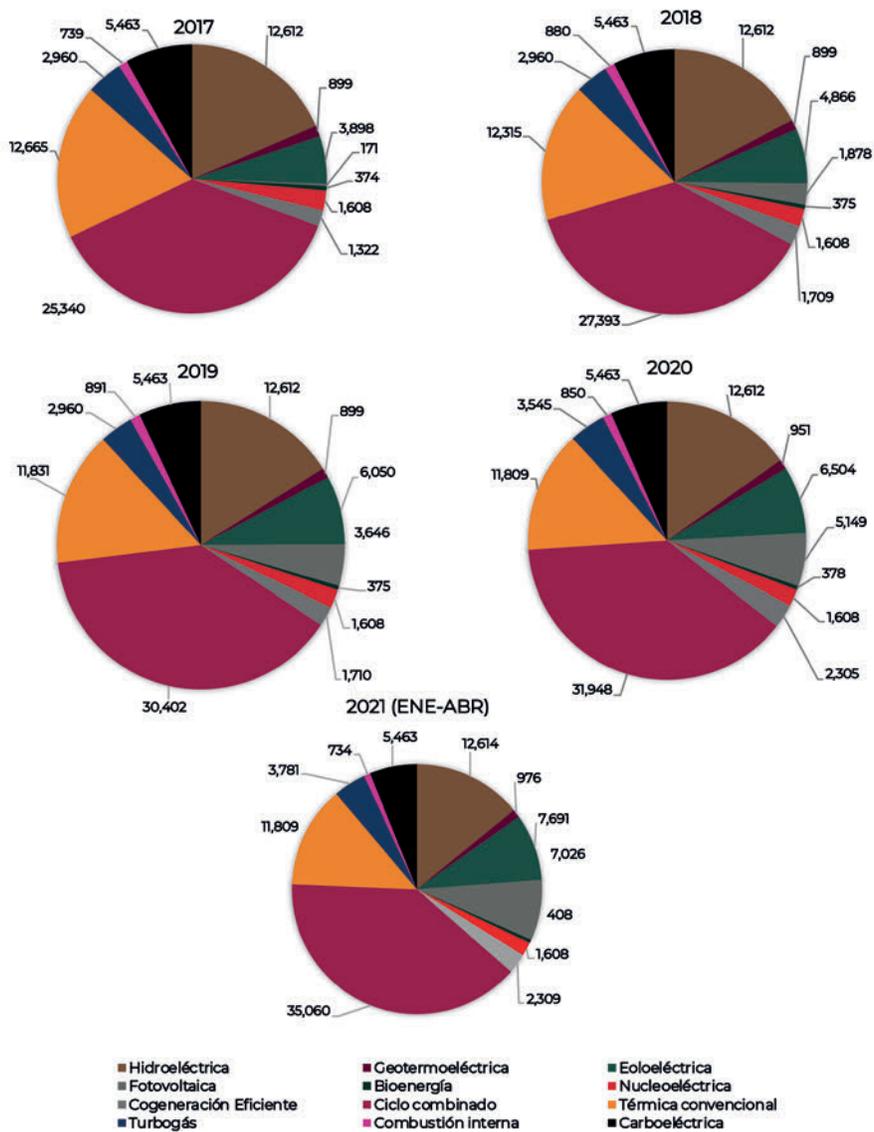
3.5 Evolución de la Capacidad Instalada a la red de las Centrales Eléctricas del Mercado Eléctrico Mayorista 2017-2021

En la figura 3.10, se presenta la evolución de la capacidad instalada por tipo de tecnología para el periodo 2017 – 2021 (ene-abr) de las Centrales Eléctricas de la CFE y del resto de los permisionarios que participan con Contrato de Interconexión Legado y Centrales Eléctricas como Participantes

del Mercado; no se considera la capacidad instalada de las Centrales Eléctricas de Frenos Regenerativos, la Generación Distribuida y Fideicomiso de Riesgo Compartido.

Se incluye la capacidad de las Unidades Móvil de Emergencia (UME), así como las Centrales Eléctricas que están en operación y en pruebas al 30 de abril de 2021. Ir al Anexo 3.3 y derivados para más información sobre la evolución por tipo de tecnología 2017-2021 (enero-abril).

FIGURA 3.10. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA (MW) DE LA CFE Y DEL RESTO DE LOS PERMISIONARIOS 2017 – 2021 (ENERO-ABRIL)

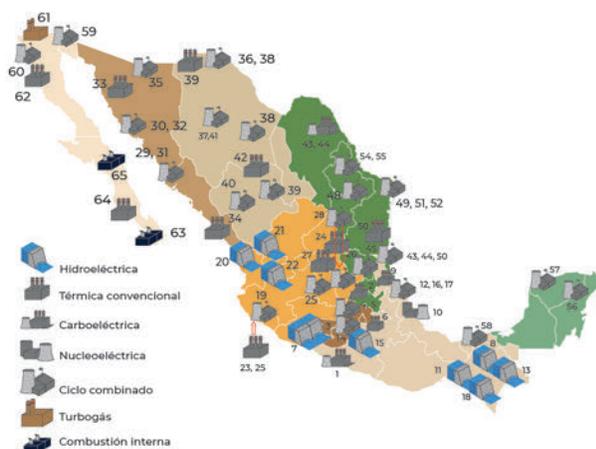


Fuente: SENER con información de CENACE

3.6 Principales Centrales Eléctricas del Mercado Eléctrico Mayorista

La figura 3.11 muestra la ubicación de las Centrales Eléctricas de la CFE y los Productores Independientes de Energía que destacan por su tecnología o importancia regional. Ir al Anexo 3.4 para más información.

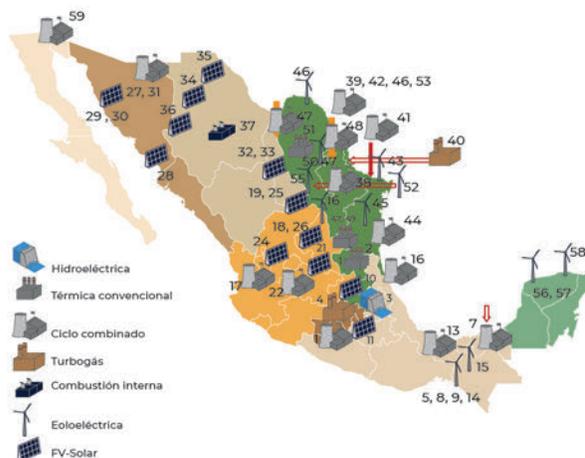
FIGURA 3.11. PRINCIPALES CENTRALES ELÉCTRICAS DE LA CFE Y PIE, AL 30 DE ABRIL DE 2021



Fuente: SENER con información de CENACE

En la figura 3.12 muestra la ubicación de las principales Centrales Eléctricas del sector privado. Las principales características de operación, así como su entidad y municipio de dichas centrales aparecen en el Anexo 3.5.

FIGURA 3.12. PRINCIPALES CENTRALES ELÉCTRICAS PRIVADAS AL 30 DE ABRIL DE 2021



Fuente: SENER con información de CENACE



Fotografía 9. Central Termoeléctrica, "General Manuel Álvarez Moreno". Manzanillo, Colima. CFE.



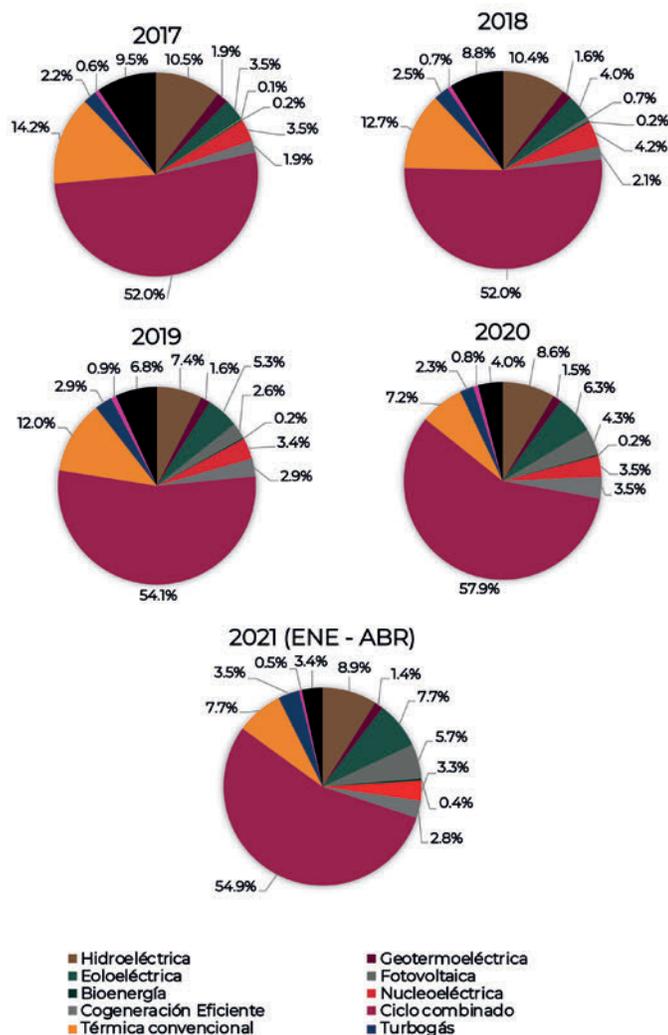
3.7 Evolución de la producción de energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista del Sistema Eléctrico Nacional

La producción de energía eléctrica considerando la generación neta de la CFE y de los diferentes permisionarios durante 2019 fue de 317,820 GWh, de los cuales 74,570 GWh es Energía Limpia (23.46%), proveniente de generación: Eoloeléctrica, FV-Solar, Bioenergía, Cogeneración Eficiente (se considera el 100% como Energía Limpia), Geotérmica, Hidroeléctrica y Nucleoeléctrica.

Mientras que la producción de energía eléctrica al 31 de diciembre de 2020 fue 312,347 GWh, con 86,988 GWh de Energía Limpia (27.85%) se considera el 100% de la cogeneración eficiente como Energía Limpia como se venía considerando en los anteriores Programas de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional de 2015-2029 a 2019-2033.

Del 01 de enero al 30 de abril de 2021, se tiene una producción de energía eléctrica de 99,097 GWh de Energía Limpia (30.12%). En la figura 3.13 presenta la evolución de la generación neta por tipo de tecnología para el periodo 2017 a 2021 (ene-abr); ver Anexo 3.6 del documento.

FIGURA 3.13. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA (%) 2017-2021 (ENERO-ABRIL) POR TIPO DE TECNOLOGÍA, CONSIDERANDO COMO LIMPIA EL 100% LA GENERACIÓN DE CENTRALES DE COGENERACIÓN EFICIENTE

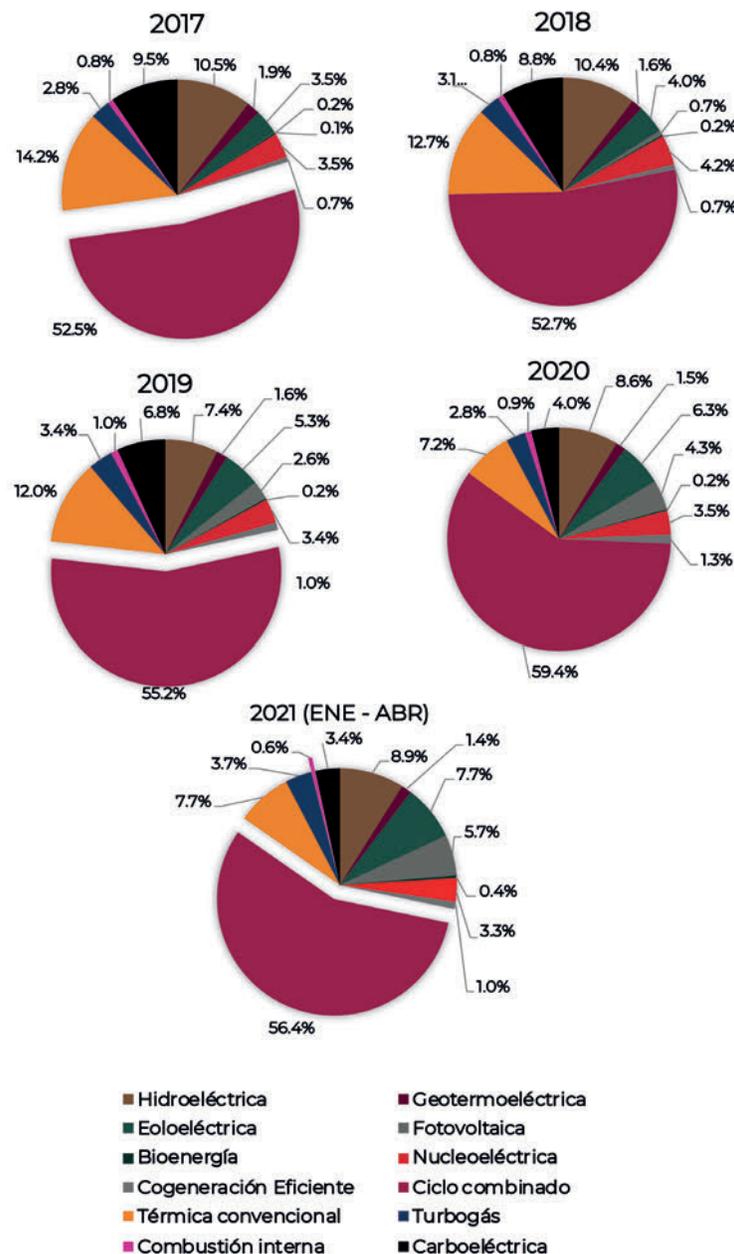


Fuente: SENER con información de CENACE, CFE y CRE

En la figura 3.14, se muestra la evolución de la generación neta por tipo de tecnología, considerando los factores de acreditación de Energía Limpia para las Centrales Eléctricas con un

sistema de Cogeneración eficiente¹; teniendo una producción de Energía Limpia de 68,592 GWh para el 2019 (21.58%), 80,088 GWh para el 2020 (25.64%) y 28,029 GWh de enero – abril 2021 (28.28%) en el SEN. Para más información ir al Anexo 3.7 del documento.

FIGURA 3.14. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA (MWH) 2017 – 2021 (ENERO-ABRIL) POR TIPO DE TECNOLOGÍA, APLICANDO SU FACTOR DE ACREDITACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA A LAS CENTRALES ELÉCTRICAS DE COGENERACIÓN EFICIENTE.



Fuente: SENER con información de CENACE, CFE y CRE

¹ Comisión Reguladora de Energía





Fotografía 10. Trabajadores en maniobras de restablecimiento de energía eléctrica. Cabo San Lucas, Baja California Sur. CFE.