



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MODELO
ENERGÉTICO PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO
MEXICANO**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**

**NOMBRE DEL SUSTENTANTE:
GUADALUPE DIOCELINA TOLEDO VÁZQUEZ**

DIRECTOR: DR. JESÚS CEREZO ROMÁN

CODIRECTOR: DR. ANTONIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

**SINODALES: DRA. GABRIELA HERNÁNDEZ LUNA, DR. ROSENBERG
JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ, DR. DIEGO GARCÍA GUSANO.**

CUENAVACA, MORELOS

JUNIO, 2020

VOTOS APROBATORIOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Instituto de
Investigación en
Ciencias Básicas y
Aplicadas

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
Jefatura de Posgrado en Sustentabilidad Energética

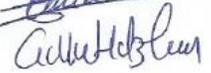
"1919-2019: en memoria del General Emiliano Zapata Salazar"

Cuernavaca, Morelos, a 27 de noviembre de 2019.

DR. DIEGO SEURET JIMÉNEZ
COORDINADOR DEL POSGRADO EN
SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA
P R E S E N T E

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la TESIS titulada "Diseño y desarrollo de un modelo energético para el sistema eléctrico mexicano" que presenta la alumna **Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez**, para obtener el título de la **Maestría en Sustentabilidad Energética**

Nos permitimos informarle que nuestro voto es:

NOMBRE	DICTAMEN	FIRMA
DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMINGUEZ	Aprobatorio	
DRA. GABRIELA HERNÁNDEZ LUNA	Aprobatorio	
DR. DIEGO GARCÍA GUSANO (IMDEA-Energía, España)	APROBATORIO	
DR. ANTONIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ	Aprobatorio	
DR. JESÚS CEREZO ROMÁN	Aprobatorio	

PLAZO PARA LA REVISIÓN 20 DÍAS HÁBILES (A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO)

NOTA. POR CUESTION DE REGLAMENTACIÓN LE SOLICITAMOS NO EXCEDER EL PLAZO SEÑALADO, DE LO CONTRARIO LE AGRADECEMOS SU ATENCIÓN Y NUESTRA INVITACIÓN SERÁ CANCELADA.

ECMC*MLGE/nmc

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México. 62209
Tel. (777) 329 70 00. Ext. 5212 / correo: merle.garcia@uaem.mx

UA
EM

RESUMEN

En los últimos años, los reportes presentados sobre el cambio climático y sus consecuencias imponen la necesidad de crear agendas de política pública que aborden el problema de adaptación y mitigación de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI).

A nivel mundial, el sector energético es responsable de un importante porcentaje de emisiones de GEI, simultáneamente, es uno de los más importantes para el crecimiento económico del país, ya que es un factor clave para el desarrollo productivo y social.

En particular, el sector eléctrico en México depende en gran medida de combustibles fósiles para la generación de electricidad. Esta problemática ha hecho indispensable el diseño de planes y políticas que favorezcan la mitigación de GEI. La Ley General de Cambio Climático (LGCC) tiene como objetivo determinar lineamientos hacia una economía baja en carbono, considerando una meta de reducción del 50% de las emisiones al 2050 con respecto a la línea base, y establece producir el 50% de la electricidad con energías limpias para el año 2050 de acuerdo con la Ley de Transición Energética (LTE).

Por esta razón, el presente trabajo tiene por objetivo diseñar y desarrollar un modelo energético ambientalmente sustentable para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Se definen y evalúan diferentes escenarios considerando la creciente demanda de electricidad, así como diferentes tecnologías tomando en cuenta el potencial de recursos renovables, las reservas de combustibles fósiles, las eficiencias, los costos de inversión, los costos de operación y mantenimiento y el precio de los combustibles.



A partir de los resultados obtenidos, se observó que si existe una reducción del impacto ambiental a través de la implementación de fuentes de energía renovables en la matriz de generación de electricidad.

ABSTRAC

In recent years, the reports presented on climate change and its consequences impose the need to create public policy agendas that address the problem of adaptation and mitigation of anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions.

Globally, the energy sector is responsible for a significant percentage of GHG emissions, simultaneously, it is one of the most important for the country's economic growth, as it is a key factor for productive and social development.

In particular, the power sector in Mexico relies heavily on fossil fuels for electricity generation. This problem has made indispensable the design of plans and policies that favor GHG mitigation. The General Law of Climate Change (GLCC) aims to determine guidelines towards a low carbon economy, assumes a goal of reducing 50% of emissions by 2050 with respect to the baseline, and establishes to produce 50% of electricity with clean energy for the year 2050 according to the Energy Transition Law (ETL).

For this reason, this work aims to design and develop an environmentally sustainable energy model for the Mexican Electricity System (MES). Different scenarios are defined and evaluated considering the growing demand for electricity, as well as different technologies considering the potential of renewable resources, fossil fuel reserves, efficiencies, investment costs, operation and maintenance costs and the price of the fuels.

Based on the results obtained, is possible to evaluate the gradual penetration of clean energy technologies in the Power sector until 2050.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Secretaría de Energía (SENER) por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.

A la Red Temática CONACYT de Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad (Red SUMAS), por todo el apoyo recibido en mi formación.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Estado de Morelos (UAEM), en especial al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) por permitirme realizar mis estudios de maestría en sus instalaciones.

Agradezco al Instituto Madrileño de Estudios Avanzados Energía (IMDEA - E), especialmente a la Unidad de Análisis de Sistemas, por permitirme realizar mi estancia de investigación dentro de sus instalaciones.

Agradezco al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnologías (CIEMAT), principalmente a la Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos por permitirme realizar mi estancia de investigación en sus instalaciones.

Agradezco a mis asesores de tesis, el Dr. Jesús Cerezo Román y el Dr. Antonio Rodríguez Martínez, por sus conocimientos invaluable que me brindaron para llevar a cabo esta investigación, por el apoyo y la confianza que me han prestado de manera desinteresada.

Agradezco al Dr. Diego García Gusano por su orientación, motivación y tiempo dedicado a fortalecer mi formación profesional.

Agradezco al Dr. Rosenberg Romero Domínguez por su dirección, paciencia y apoyo.

Agradezco a la Dra. Gabriela Hernández Luna, quien a lo largo de mi formación estuvo apoyándome para el desarrollo de este proyecto y mi crecimiento profesional, además de brindarme su valiosa amistad.

Agradezco a la Dra. Helena Cabal Cuesta y a la Dra. Natalia Caldes Gómez por compartir su valioso conocimiento conmigo, por su paciencia y orientación.

Agradezco al comité evaluador por su tiempo, sus valiosas contribuciones y comentarios acertados para mejorar el presente trabajo.

A los excelentes profesores del programa de maestría que compartieron sus conocimientos conmigo.

A mis compañeros, con quien compartí grandes momentos, por su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo...

... a Dios por guiarme durante este camino y permitirme lograr una meta más en mi vida

... a mi papá y mi hermana, quienes en vida fueron mi ejemplo de esfuerzo y dedicación.

... a mi mamá por ser mi inspiración, por todo el apoyo brindado a lo largo de este camino, ya que sin ella nada de esto sería posible.

... a mis hermanos por estar siempre a mi lado.

... a mi esposo por su apoyo incondicional.

... y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a mi formación.

Quiero hacerles saber que son lo más importante en mi vida, los amo y les dedico este trabajo con todo mi cariño.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1. Sector Energético Mexicano	4
1.1.2. Sector Eléctrico Nacional	10
1.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	23
1.4. ALCANCE	24
1.5. HIPÓTESIS.....	25
1.6. OBJETIVO	25
1.6.1. Objetivos particulares.....	25
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	26
2.1. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SEN	26
2.2. TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES.....	27
2.2.1. Ciclo combinado.....	27
2.2.2. Termoeléctrica convencional.....	28
2.2.3. Carboeléctrica	29
2.2.4. Turbogás	30
2.2.5. Combustión interna	31
2.2.6. Lecho fluidizado	31



2.3.	TECNOLOGÍAS LIMPIAS	32
2.3.1.	Hydroeléctrica	33
2.3.2.	Eólica	34
2.3.3.	Geotérmica.....	35
2.3.4.	Solar.....	36
2.3.5.	Bioenergía.....	38
2.3.6.	Nucleoeléctrica.....	39
2.4.	COMPROMISOS DE EMISIONES DE GEI	41
2.5.	METAS DE EMISIONES DE ENERGÍAS LIMPIAS	42
2.6.	PLATAFORMA LEAP	43
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA		47
3.1.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DEL SEN	47
3.2.	ANÁLISIS DE LA ENCC	47
3.3.	DESARROLLO DEL MODELO ENERGÉTICO	48
3.3.1.	Módulo de variables de usuario.....	50
3.3.2.	Módulo de demanda de energía	51
3.3.3.	Módulo de transformación de energía.....	52
3.3.4.	Propuesta de Escenarios	56
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		58
4.1.	ANÁLISIS DE LAS PROSPECTIVAS DEL SEN.....	58
4.2.	SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN	60



4.3. DEMANDA DE ELECTRICIDAD AL AÑO 2050.....	61
4.4. ESCENARIO DE REFERENCIA.....	62
4.5. ESCENARIO LVF-2MWh.....	65
4.6. ESCENARIO LVF-4MWh.....	66
4.7. ESCENARIO CVF-2MWh.....	68
4.8. ESCENARIO CVF-4MWh.....	69
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1. CONCLUSIONES	73
5.2. RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS.....	75
APÉNDICE A	83
ANEXO 1. ESTANCIA INTERNACIONAL	99
ANEXO 2. PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS	100
ANEXO 3. CURSOS Y TALLERES	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Población histórica a mitad de año para México.....	50
Tabla 2. Proyecciones de población a mitad de año para México.	51
Tabla 3. Consumo total y consumo per cápita de electricidad.....	52
Tabla 4. Capacidad instalada por tipo de tecnología en México.....	53
Tabla 5. Generación por tipo de tecnología en México, 2013-2017.....	54
Tabla 6. Características básicas de las centrales eléctricas en operación ...	55
Tabla 7. Perspectiva de la población al año 2050.....	56
Tabla 8. Listado de tecnologías de generación.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de energía primaria.....	5
Figura 2. Producción y exportación de petróleo, 1990-2015.....	6
Figura 3. Producción e importación de gas natural.....	6
Figura 4. Reservas de petróleo y gas natural en México.....	7
Figura 5. Índice de independencia energética	8
Figura 6. Potencial probado de las energías renovables en México.....	9
Figura 7. Emisiones de GEI por sector.	10
Figura 8. Regiones de control del SEN.....	12
Figura 9. Generación de energía eléctrica por combustible.....	13
Figura 10. Capacidad Instalada por tipo de tecnología.....	14
Figura 11. Generación de energía eléctrica por tipo de tecnología.....	15
Figura 12. Ventas de energía eléctrica por sector económico, 2017.	16
Figura 13. Crecimiento del sector eléctrico y el PIB.....	16
Figura 14. Emisiones de GEI por categoría del sector energético, 2015.	17
Figura 15. Emisiones de GEI por la generación de energía eléctrica	18
Figura 16. Emisiones de GEI por tipo de tecnología.....	18
Figura 17. INDC del sector eléctrico.	41
Figura 18. Porcentajes de participación de energías limpias.....	42
Figura 19. Rutina de modelado y vínculo entre LEAP - OSeMOSYS.	44
Figura 20. Representación esquemática del SEN-50.	49
Figura 21. Escenarios propuestos para evaluar el SEN.	57
Figura 22. Indicadores de planeación (SENERf, 2018).	58
Figura 23. Ruta 10-20-40.....	59
Figura 24. Metas de mitigación de la ENCC enfocadas en el SEN.....	59
Figura 25. Proyecciones de crecimiento poblacional en México.....	61
Figura 26. Proyecciones de demanda de energía eléctrica al año 2050.	62



Figura 27. Evolución de la capacidad instalada, 2018-2032.....	63
Figura 28. Escenario de Referencia.....	64
Figura 29. Escenario LVF - 2MWh.....	65
Figura 30. Escenario LVF-4MWh.....	67
Figura 31. Escenario CVF - 2MWh.	68
Figura 32. Escenario CVF - 4MWh.	69
Figura 33. Proyecciones de capacidad instalada al año 2050.	70
Figura 34. Proyecciones de generación de energía eléctrica al año 2050....	70
Figura 35. Mitigación de GEI en el SEN al 2050.....	71

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es inequívoco, la influencia humana en el sistema es clara, las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) cada vez son más altas como consecuencia del crecimiento económico y demográfico. La temperatura promedio de la Tierra ha aumentado, los volúmenes de hielo y nieve han disminuido, y el nivel del mar se ha elevado (IPCC, 2014). Los fenómenos meteorológicos extremos se están volviendo cada vez más frecuentes y no dejan de acentuarse.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) hacen un llamado a los países a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna, forma parte de los ODS y resulta esencial erradicar la pobreza, proteger al planeta y asegurar la prosperidad, además, constituye un eje de los esfuerzos para hacer frente al cambio climático (ONU, 2015).

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (*IEA* por sus siglas en inglés), el sector energético representa más del 80% de las emisiones de bióxido de carbono (CO_2) a nivel mundial. Si bien las emisiones aumentaron, en particular, el sector eléctrico representó casi dos tercios del crecimiento total. En 2016, las emisiones globales de CO_2 derivados de la quema de combustibles fósiles fueron de 32 Gt CO_2 (IEA, 2018).

Ante este panorama, en el marco de la Conferencia de las Partes (COP 21), celebrada en París en 2015, varios países se comprometieron a reducir significativamente sus emisiones de GEI a un nivel de no aumentar la temperatura del planeta por encima de los 2°C. Todas las partes deberán presentar sus Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC, por sus siglas en inglés). Las INDC son un compromiso de la comunidad internacional para reducir las emisiones de nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático; las partes deberán adoptar medidas de mitigación internas, con el fin de alcanzar los objetivos (UNFCCC, 2015).

Como parte de los esfuerzos para regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, en 2012 entró en vigor la Ley General Cambio Climático (LGCC), con el objetivo de establecer las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París. Su función es regular, fomentar e incorporar acciones de adaptación y mitigación con un enfoque a largo plazo, define las obligaciones de las autoridades y establece mecanismos institucionales para enfrentar el reto (DOF, 2012).

A fin de cumplir con los objetivos, es indispensable diseñar e implementar instrumentos de política pública para fortalecer la LGCC. Uno de los instrumentos de planeación es la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) visión 10-20-40, que describe las líneas de acción a seguir con base en la información disponible del entorno presente y futuro, para atender las prioridades nacionales y alcanzar los objetivos del país a largo plazo. La ENCC plantea metas viables para combatir este fenómeno en los próximos 40 años; menciona que el país crecerá de manera sostenible, se fomentará el manejo sustentable de los recursos naturales y el uso de energías limpias y renovables. El reto es muy grande, ya que se pretende mitigar el 50% en 2050 en relación con las emisiones el año 2000 (Gobierno de la República, 2013).

México reconoce que es importante llevar a cabo acciones que contribuyan a los esfuerzos de la comunidad internacional en materia de mitigación de GEI. En 2015 se llevó a cabo la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), una herramienta sólida con la cual, México fue el primer país de América Latina en presentar sus INDC ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

La contribución de México contiene dos componentes, uno de mitigación y otro de adaptación. El componente de adaptación contempla dos tipos de medidas: las no condicionadas, que se refieren a aquellas que el país puede solventar con sus propios recursos, y las medidas condicionadas, que requieren del establecimiento de un nuevo régimen internacional de cambio climático en el cual México pudiera obtener recursos adicionales y lograr mecanismos efectivos de transferencia de tecnología. México ha asumido el compromiso internacional de reducir el 22% de sus emisiones de GEI al año 2030, una cifra que podría elevarse a 36% de manera condicionada en caso de recibir apoyo internacional (Gobierno de la República, 2014).

En el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018, tuvo como objetivo “Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo”; tomando como líneas de acción el fortalecimiento de la política nacional de cambio climático y cuidado del medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono (Poder Ejecutivo Federal, 2013).

Estos objetivos ambiciosos de acción climática se enmarcan en el nuevo contexto de una reforma del sector energético mexicano. Después de un largo período en el que el sistema energético fue dominado por el petróleo, perdió gradualmente la dirección, debido a esto, en el 2013 fue aprobada la Reforma Energética (RE) como parte de los esfuerzos para modernizar y diversificar la economía nacional (DOF, 2013). El objetivo general de esta reforma fue proporcionar un sector energético más sostenible, eficiente, transparente y productivo, para aumentar los beneficios obtenidos de los recursos del país, al mismo tiempo que se fomente el crecimiento de las fuentes energéticas bajas en carbono (IEA, 2016).

Los cambios institucionales crearon una nueva arquitectura de la organización del sistema eléctrico mexicano donde el modelo de monopolio público dio apertura a la inversión privada, específicamente la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dejó de tener el control total del sector eléctrico, permitiendo competencia en los segmentos de generación y comercialización.

En este contexto, se busca construir y evaluar escenarios de opciones tecnológicas para reducir las emisiones de GEI en el sector eléctrico, basados en el aprovechamiento de energías renovables, que involucren todos los participantes del nuevo esquema de organización, al igual que considere las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

1.1.1. Sector Energético Mexicano

El sector energético en México es estratégico para el desarrollo nacional, es un componente esencial de la economía y uno de los factores clave para el desarrollo productivo y social del país. Este sector involucra el manejo, transformación y uso de recursos energéticos.

1.1.1.1 Demanda de energía por combustible

Desde el punto de vista de la matriz energética nacional 2017 (Figura 1), la oferta interna de energía primaria está dominada por los combustibles fósiles en un 89.0%, mientras que las energías renovables y la energía nuclear representan, el 9.4% y el 1.6%, respectivamente (SENERa, 2017). A pesar de que el gas natural se está expandiendo rápidamente, el petróleo sigue dominando la matriz energética de México.

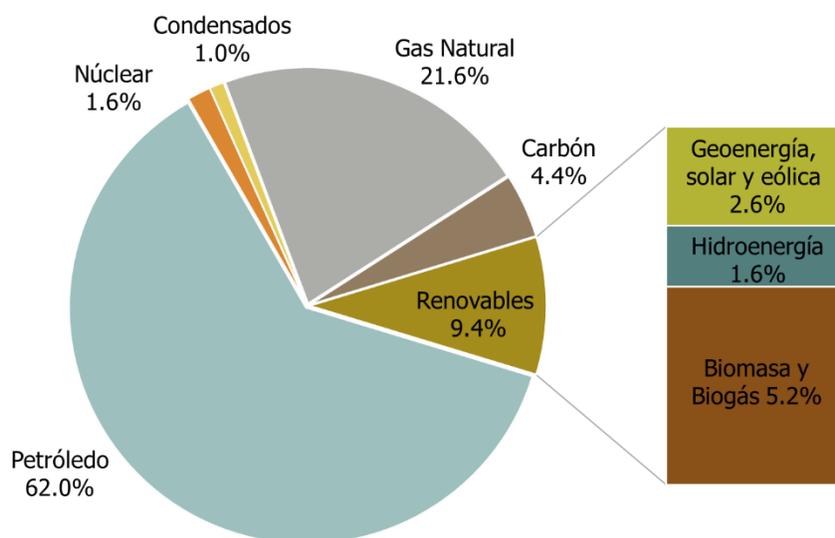


Figura 1. Producción de energía primaria.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERa, 2017).

1.1.1.2 Reservas de recursos no renovables

México ocupa el décimo primer lugar como mayor productor de petróleo a nivel mundial, pero se ha visto confrontado en los últimos años por una combinación de producción petrolífera en declive y aumento de la demanda. La producción de petróleo se situó en 2.6 millones de barriles por día (Mbd) en 2015, muy por debajo del punto alto de producción de 3.8 Mbd en 2004 (Figura 2). La producción general ha sido afectada por la disminución natural de los campos maduros y por el fracaso en el desarrollo de nuevos recursos suficientes para compensar estas disminuciones (IEA, 2016).

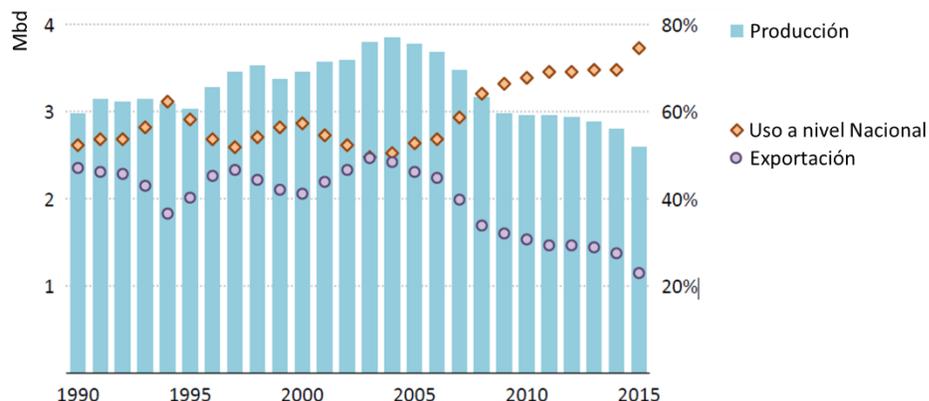


Figura 2. Producción y exportación de petróleo, 1990-2015.
Fuente: (IEA, 2016)

De igual manera que el petróleo, la producción de gas (Figura 3) ha estado en una tendencia a la baja en los últimos años; en el 2015 fue de 42 miles de millones de metros cúbicos (MMMmc), un 18% menos que el pico en 2010. El uso de gas natural ha aumentado considerablemente en el país, principalmente para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, el incentivo para desarrollar los recursos de gas en México a gran escala se ha visto debilitado por la disponibilidad de gas para la importación, a precios competitivos, desde el sur de los Estados Unidos (IEA, 2016).

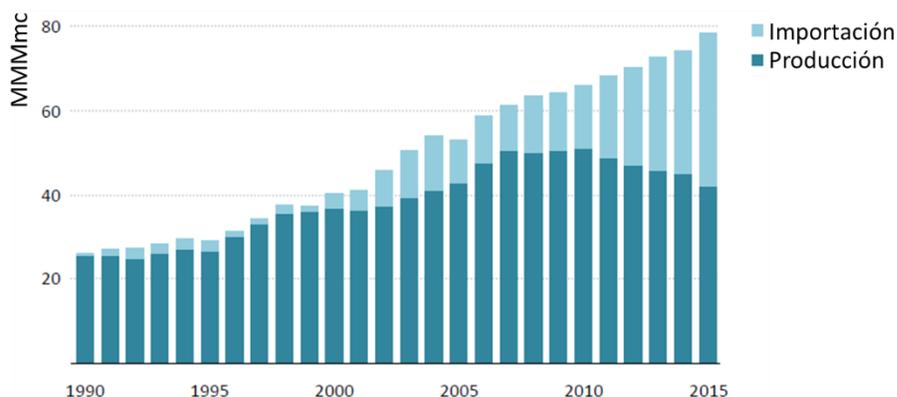


Figura 3. Producción e importación de gas natural.
Fuente: (IEA, 2016).

Según datos de la Secretaría de Energía (SENER), México cuenta con reservas energéticas cuantificadas de petróleo y gas natural (Figura 4). Los valores de las reservas son indicadores que permiten conocer la disponibilidad de los recursos fósiles (SENERb, 2018) (SENERc, 2018).

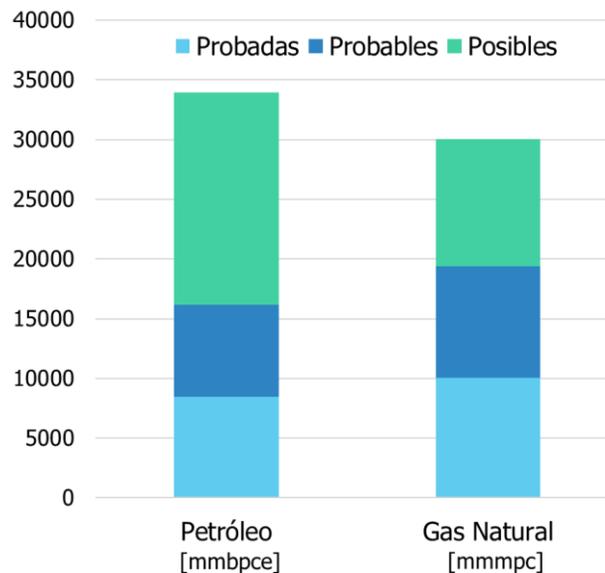


Figura 4. Reservas de petróleo y gas natural en México.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERb, 2018) (SENERc, 2018).

En los últimos años México había sido autosuficiente en su producción nacional de energía primaria, que tenía alta dependencia de hidrocarburos. Sin embargo, la producción nacional comenzó a declinar constantemente a partir de 2005 debido a la caída inercial de la producción de petróleo (Figura 5). Durante el mismo periodo el consumo de energía se mantuvo al alza hasta 2013. Bajo esta dinámica, en índice de independencia energética, que corresponde a la relación entre la producción y el consumo nacional, comenzó a reducirse a partir de 2003.

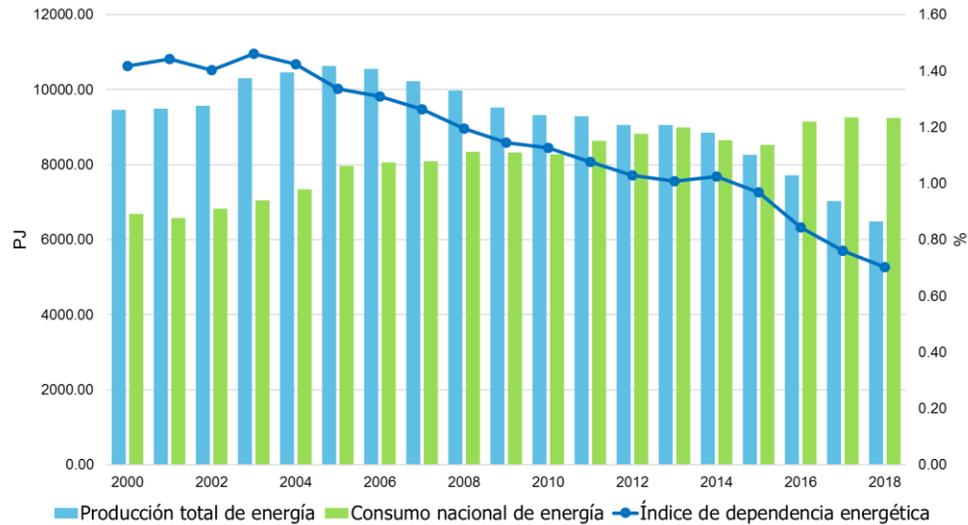


Figura 5. Índice de independencia energética, producción y consumo de energía, 2000-2015.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERe, 2018)

1.1.1.3 Recursos renovables

Las energías renovables han cobrado gran relevancia y se han convertido en la opción más viable para impulsar el desarrollo y crecimiento de manera sustentable. México, considerado como un país diverso, tiene abundantes recursos de energía renovable que respaldan las ambiciones del país de descarbonizar su sistema energético.

Con la finalidad de conocer el potencial que tienen las energías limpias, la SENER en conjunto con otras instituciones, desarrollaron el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL), y el Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL), herramientas que permiten identificar áreas con mayor factibilidad para desarrollar proyectos considerando la disponibilidad de los recursos, así como algún tipo de restricción de carácter social, ambiental, climatológica, e incluso monumentos históricos o arqueológicos, áreas naturales protegidas y zonas de riesgo; toma en cuenta la madurez de la tecnología, la competitividad de las fuentes de energía y el impacto en los costos de inversión y mantenimiento (SENERd, 2018).

Con el apoyo de estos instrumentos es posible conocer el potencial probado, probable y posible de las energías renovables. El potencial probado es aquel que cuenta con estudios técnicos y económicos que comprueban la factibilidad de su aprovechamiento (Figura 6); mientras que el potencial probable cuenta con estudios de campo que comprueban la presencia de recursos, pero no son suficientes para evaluar la factibilidad técnica y económica de explotación; en cambio, el potencial posible carece de estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales necesarios para evaluar la factibilidad e impacto del recurso (SENERd, 2018).

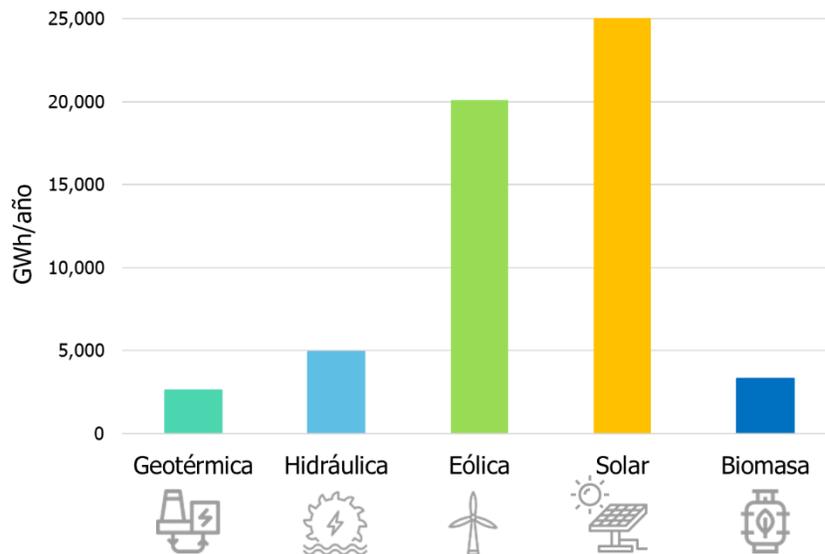


Figura 6. Potencial probado de las energías renovables en México.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERd, 2018).

1.1.1.4 Emisiones del sector energético

Desde hace tiempo se reconoce que la energía es esencial para que la humanidad se desarrolle y prospere. No obstante, la producción de energía actualmente está dominada por fuentes de energía fósiles, que tienen repercusiones importantes sobre las emisiones de GEI.

Según datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), en 2015 el sector energético fue responsable del 71.11% de las emisiones totales nacionales de GEI (Figura 7), bajo este contexto, cualquier esfuerzo por reducir las emisiones y mitigar el cambio climático debe incluir a este sector (INECC & SEMARNAT, 2018).

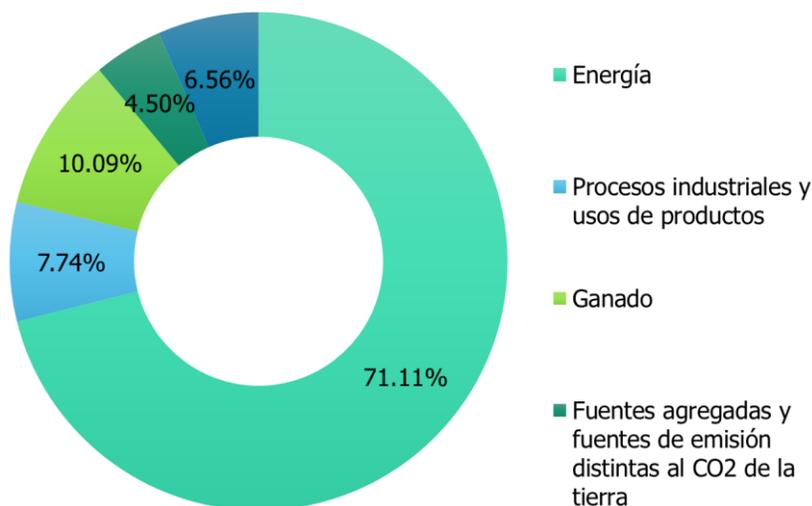


Figura 7. Emisiones de GEI por sector.
Fuente: Elaboración propia con información de (INECC & SEMARNAT, 2018)

1.1.2. Sector Eléctrico Nacional

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es un componente del sector energético que involucra la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Hoy en día la industria eléctrica está integrada por diversos actores públicos y privados que intervienen en el proceso de generación de energía eléctrica, aunque la transmisión y distribución para el servicio público son actividades reservadas para el Estado Mexicano.

La reforma energética de 1992 impulsó formas de participación de los privados en actividades que no se consideraban parte del servicio público. Así, la Ley

de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) promovió un esquema parcial de apertura para que los particulares participaran en la industria eléctrica nacional bajo las modalidades de Producción Independiente de Energía (PIE), autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción y usos propios y continuos, así como de importación y exportación de energía eléctrica, previo permiso otorgado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) (DOF, 1992).

Con la reforma energética iniciada en 2013, la LSPEE fue abrogada en 2014 y apareció la Ley de la Industria Eléctrica (LIE). Los permisos otorgados por la CRE antes de la aprobación de la LIE siguen vigentes al amparo de la LSPEE y pueden solicitar su modificación por permisos de carácter único de generación acorde a lo establecido en la nueva ley. Adicionalmente, la regulación mexicana facilitó la generación distribuida y los contratos de interconexión en pequeña y mediana escala a partir de 2007, y ha promovido la generación a partir de fuentes de energía renovable (CEPAL, 2018).

La demanda de electricidad se ha más que duplicado en los últimos veinte años, más del 99% de la población tiene acceso a este servicio, pero el consumo per cápita es relativamente bajo. De acuerdo con datos del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) (SENERe, 2018), en 2017 el consumo per cápita de electricidad fue de 2,098 kilowatts-hora por persona (kWh/p).

El SEN se compone de cuatro sistemas eléctricos aislados: Sistema Interconectado Nacional (SIN), el Sistema Eléctrico de Baja California (BC), el Sistema Eléctrico de Baja California Sur (BCS) y el Sistema Eléctrico Mulegé (SEM).

A su vez, el SEN está integrado por diez regiones de control (Figura 8), de las cuales siete se encuentran interconectadas formando el SIN (SENERe, 2018).



Figura 8. Regiones de control del SEN.
Fuente: (SENERe, 2018)

1.1.2.1. Infraestructura del sistema eléctrico mexicano

La descarbonización energética ha dinamizado el sector debido a la incorporación de fuentes de energía limpia y nuevos actores en el mercado eléctrico. En cuanto a la generación de electricidad en México (Figura 9) está dominada por el gas natural, que ha suplantado al combustóleo como combustible principal (IEA, 2016).

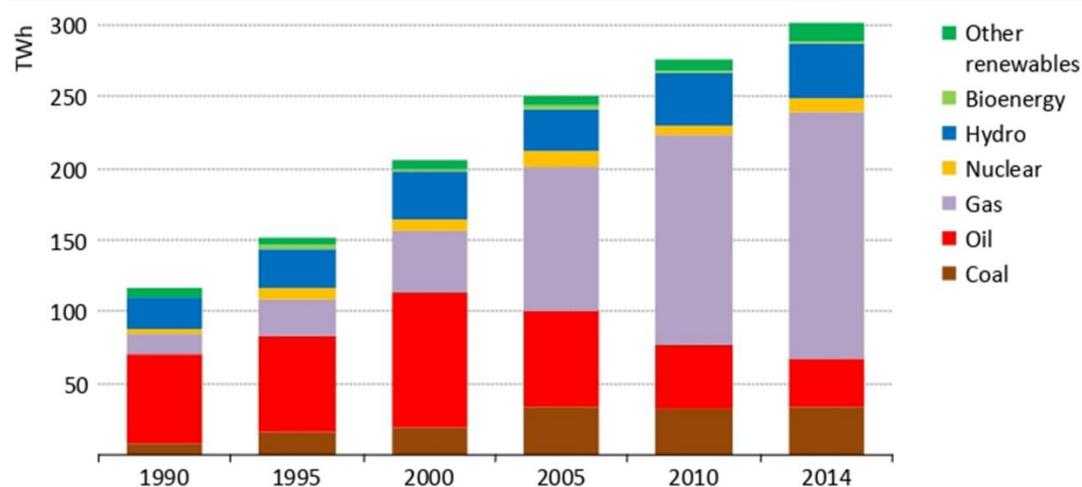


Figura 9. Generación de energía eléctrica por combustible.
Fuente: (IEA, 2016)

Entre 2007 y 2017, la capacidad para la generación de energía eléctrica creció a una tasa media anual de 2.5%. Al final del periodo el sistema eléctrico de México contaba con una capacidad instalada de 75,865 MW, de los cuales 70.5% corresponde a centrales eléctricas convencionales y 25.5% a centrales eléctricas con tecnologías limpias (Figura 10).

En términos de modalidades de generación vigentes, el 57.2% de la capacidad instalada corresponde a centrales eléctricas de CFE, el 17.5% a centrales de Productores Independientes de Energía (PIEs) y el 25.3% restante a productores particulares que aportan bajo esquemas de autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, exportación, usos propios continuos, generación distribuida y sistemas rurales no interconectados (SENERe, 2018).

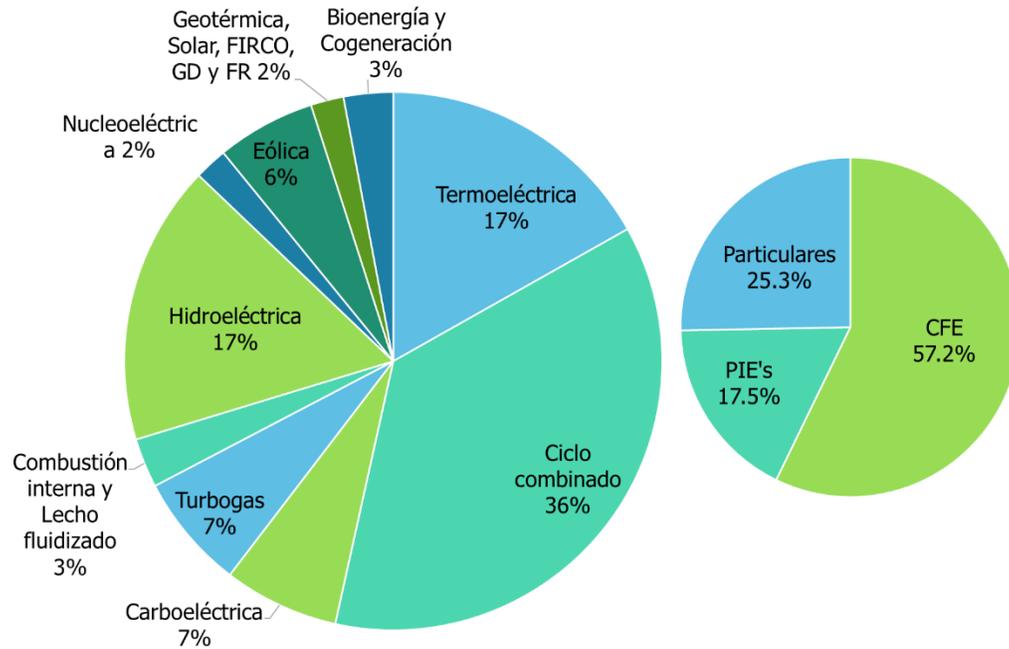


Figura 10. Capacidad Instalada por tipo de tecnología 2017.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERe, 2018)

En el periodo comprendido de 2007 a 2017 la generación bruta de energía eléctrica creció a una tasa media anual de 2.8%. Al cierre del 2017, se generaron 329,162 GWh de energía eléctrica, de los cuales el 78.9% fue con tecnologías convencionales y el 21.1% restante con tecnología limpias (Figura 11). Las centrales eléctricas de CFE generaron el 51.8% de la energía eléctrica, los PIE's aportaron el 26.7% y el 21.5% restante representa la producción de los particulares (SENERe, 2018).

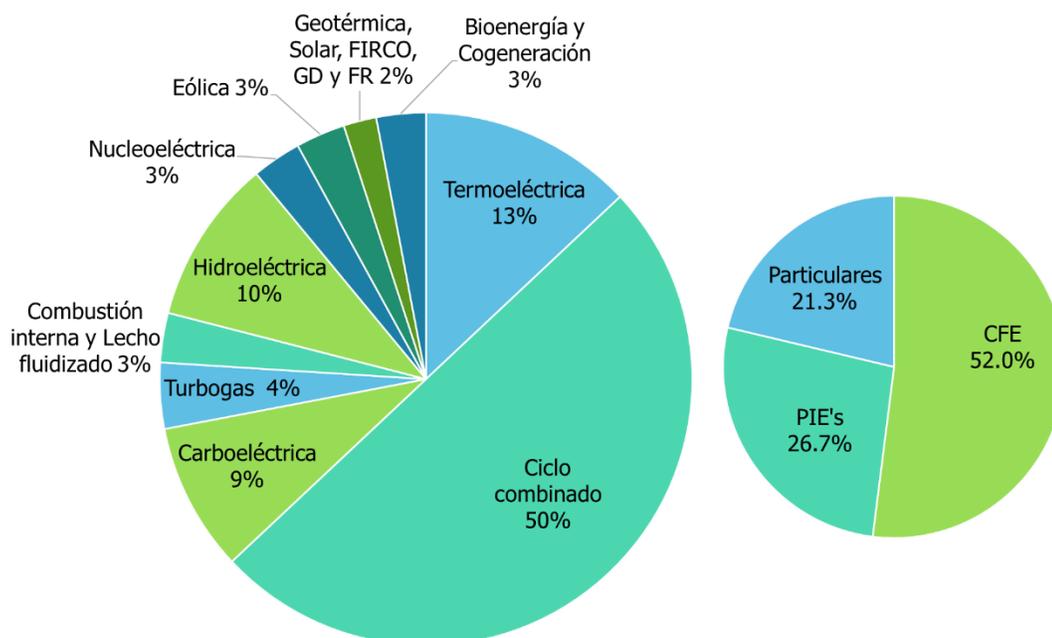


Figura 11. Generación de energía eléctrica por tipo de tecnología.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERe, 2018).

1.1.2.2. Consumo y demanda de electricidad

Con el nuevo diseño del mercado eléctrico, se permite una competencia libre, donde los más beneficiados son los consumidores que demandan mayores cantidades de electricidad a precios accesibles. El consumo bruto de energía eléctrica está compuesto por la suma de las ventas, el autoabastecimiento, la importación, las pérdidas y los usos propios.

Los cinco sectores de la economía (agrícola, comercial, industrial, residencial y de servicios) contribuyen al crecimiento de las ventas de energía eléctrica (Figura 12), por lo tanto, el consumo de electricidad tiene una correlación con el comportamiento de la actividad económica del país, la cual implica una variación en el producto interno bruto (PIB) del país (SENERf, 2018).

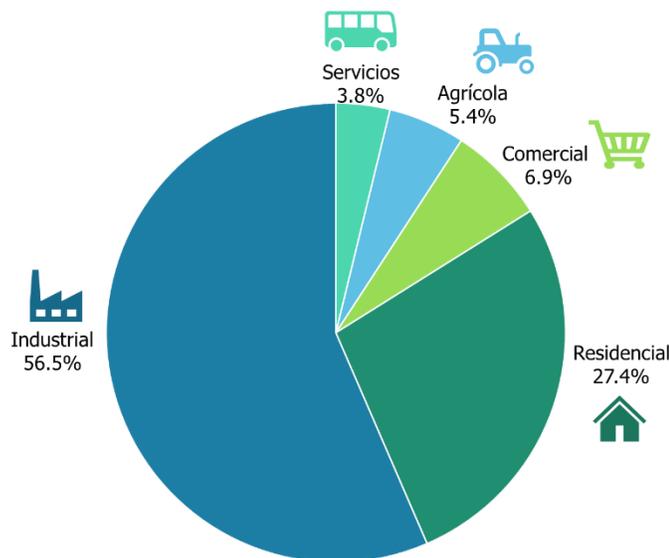


Figura 12. Ventas de energía eléctrica por sector económico, 2017.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERe, 2018).

En los últimos años la tasa de crecimiento anual de la demanda de electricidad ha aumentado considerablemente, incluso ha crecido más rápido que el PIB durante las últimas décadas, y es probable que esta tendencia continúe (Figura 13).

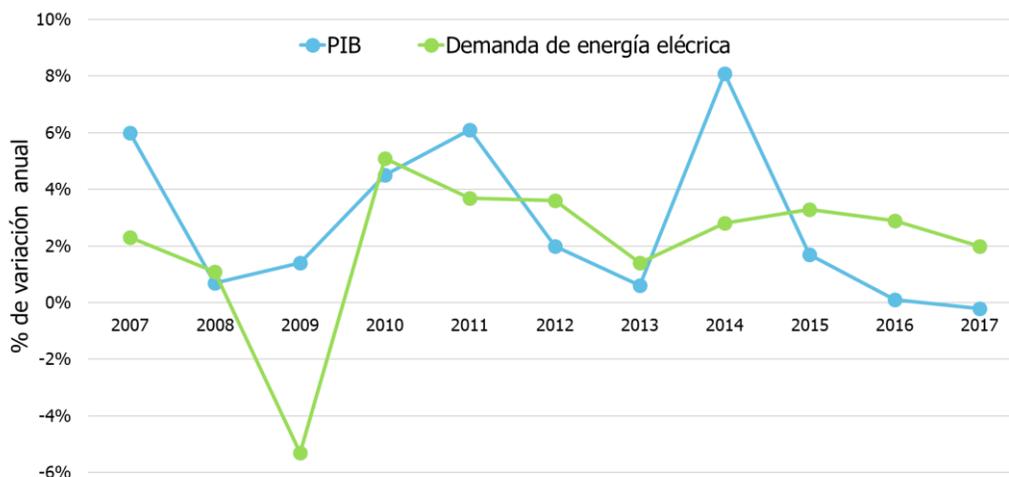


Figura 13. Crecimiento del sector eléctrico y el PIB.
Fuente: Elaboración propia con datos de (SENERe, 2018).

Se estima que la producción de electricidad crecerá significativamente para satisfacer las necesidades de una economía en expansión y una población en crecimiento, por lo que satisfacer la demanda de electricidad en el futuro, incrementaría las emisiones totales de CO₂e provenientes de la generación de electricidad en un 230% entre 2008 y 2030 de seguir con la misma tendencia (Johnson, 2009).

1.1.2.3. Emisiones de GEI del sistema eléctrico mexicano

De acuerdo con el INEGYCEI 2015, en el sector energético se reportan las emisiones de GEI derivadas del consumo de combustibles fósiles, las cuales liberan principalmente dióxido de carbono (CO₂) por el contenido de carbono, aunque también liberan metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) de acuerdo con las características de los combustibles, la tecnología empleada y las medidas de reducción. A su vez, el sector energético se clasifica en seis categorías, de las cuales la producción de energía eléctrica y el transporte son los mayores emisores con un 36% y 35% de las emisiones de este sector, respectivamente (Figura 14) (INECC & SEMARNAT, 2018).

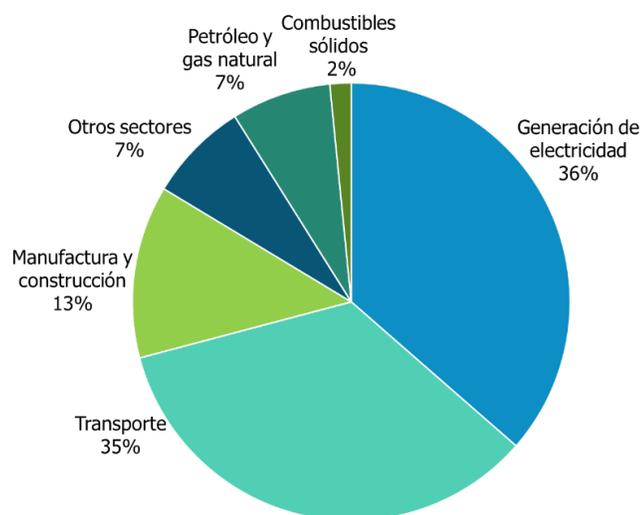


Figura 14. Emisiones de GEI por categoría del sector energético, 2015.
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGYCEI, 2015.

Las emisiones de GEI procedentes de la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad por parte de la CFE y los PIEs, así como por las diversas tecnologías de producción de electricidad han variado significativamente con el paso de los años (Figura 15-16) (INECC & SEMARNAT, 2018).



Figura 15. Emisiones de GEI por la generación de energía eléctrica de CFE y PIE, 2010-2015
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGYCEI 2015

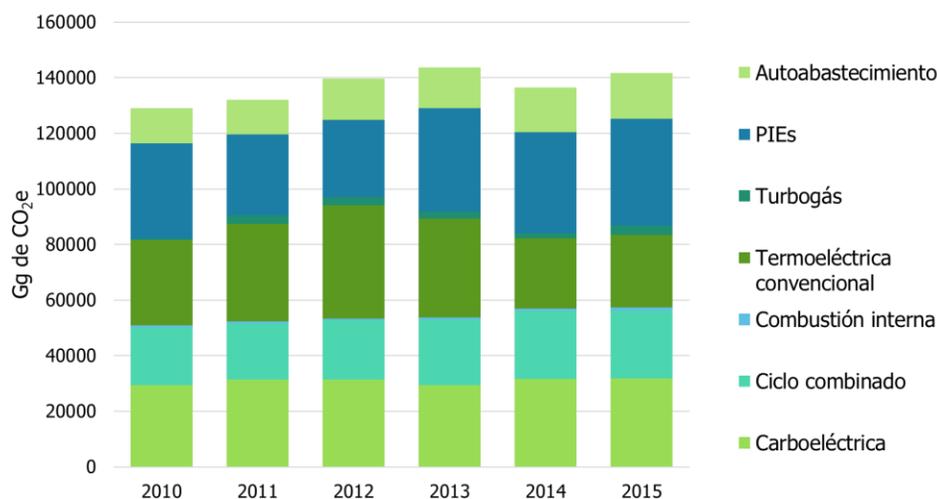


Figura 16. Emisiones de GEI por tipo de tecnología para generación de energía eléctrica, 2010-2015
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGYCEI 2015

En este sentido, existe un gran desafío en el sector eléctrico. México ha adquirido diversos compromisos que enfrentará para dirigirse hacia una economía baja en carbono, tanto la inclusión de energías limpias, como de adaptación y mitigación del cambio climático.

1.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Bajo este contexto, se llevó a cabo un análisis de otros estudios similares y de reciente publicación. Es esta sección se presenta una compilación de estudios de prospectiva energética y evaluación de emisiones de GEI, así como trabajos que contribuyeron al desarrollo del presente estudio.

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se realizó un estudio para evaluar el futuro ambiental de México hasta el año 2025 en términos de GEI a través de tres escenarios. El primer escenario enfatiza en el uso de derivados del petróleo, principalmente combustóleo; en el segundo predomina el uso de gas natural; y el tercer escenario evalúa la alta participación de energías renovables, principalmente hidrógeno considerando la factibilidad técnica y económica. Entre sus resultados lograron pronosticar, a través de la herramienta Long-Range Energy Alternatives Planning (LEAP), que el escenario que prioriza las energías renovables es el más favorable, ya que las emisiones reducen 32% respecto al primer escenario y 19% en comparación con el escenario dos (Manzini, Islas, & Martínez, 2001).

Posteriormente la misma institución realizó un análisis costo-beneficio de tres escenarios del SEN: base (usando combustóleo), oficial (introduciendo gas natural) y transición (incorporando energías renovables). El estudio lo efectuaron variando los precios de los combustibles fósiles y la evolución de los costos de inversión por el cambio tecnológico. En sus conclusiones se

ratificó la viabilidad del escenario de transición cuando se toma en cuenta la incorporación de cambios tecnológicos (Islas, Manzini, & Martínez, 2003).

Más tarde, calcularon los costos de mitigación de CO₂ en el SEN comparando dos escenarios; el primero basado en el crecimiento del uso de gas natural, y el segundo de transición con gas natural que es reemplazado por la incorporación de energías renovables (solar, eólica, hidráulica y biomasa). Los costos de mitigación fueron obtenidos utilizando como parámetros el precio del gas natural, la tasa de descuento y el progreso tecnológico. Concluyeron enmarcando que el desarrollo tecnológico de las energías renovables es esencial para tener un costo de mitigación aceptable (Islas , Manzini, & Martínez , 2004).

Años más tarde, se utilizó en modelo matemático desarrollado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas en colaboración con especialistas de la UNAM y del Instituto Nacional de Ecología, con el propósito de evaluar las opciones tecnológicas para mitigar las emisiones de GEI en el SEN a través de dos escenarios: uno empleando energía nuclear y combustibles fósiles con tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ y el otro mediante fuentes de energía renovables. En el primer escenario las emisiones se redujeron, sin embargo, se debe considerar el riesgo por el uso de energía nuclear y la dependencia de combustibles fósiles. En el segundo escenario se alcanzó un sector eléctrico con cero emisiones y sin dependencia de combustibles fósiles, no obstante, debe tomarse en cuenta las grandes extensiones de terreno para centrales solares y eólicas, así como la intermitencia de las energías renovables (Castrejón, 2012).

Posteriormente se analizó la problemática energética y ambiental, paralelamente, se dio a conocer una serie de instrumentos de política pública que se han aplicado de manera internacional para impulsar el uso de las

energías renovables en la transición del sector eléctrico. Islas y Grande propusieron un escenario para el SEN donde las energías renovables tienen una participación del 57% en el proceso de generación en el año 2030, mediante la aplicación de políticas públicas para la incorporación de energías renovables (Islas & Grande, 2013).

Más tarde se reconoció al sector de generación de energía eléctrica como una de las fuentes que impulsan la economía del país. Mediante la ecuación llamada “Identidad de Kaya”, la cual ha sido utilizada para el planteamiento de diferentes escenarios referentes a la reducción de emisiones de carbón por parte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Dicha ecuación plantea que el impacto ambiental por emisiones de carbón es producto de la variación poblacional, el PIB per cápita, la intensidad energética y la intensidad de carbono. Se realizaron proyecciones de la demanda eléctrica a corto, mediano y largo plazo para satisfacer las necesidades energéticas y evitar futuras crisis (Sandoval, 2013).

Ante el potencial de fuentes de energía renovables en México, se realizó un estudio para presentar una visión general del estado actual de los proyectos de energía renovable para la generación de electricidad, los principales resultados positivos hasta la fecha, el potencial futuro, y el posible impacto social y ambiental. También, se analizaron las barreras que obstaculizan mejoras y proponen soluciones pertinentes (Alemán, et al., 2014).

Con la finalidad de determinar la combinación óptima de energías renovables y combustibles fósiles del SEN se propuso la metodología Capacidad Mínima Total (MTMC por sus siglas en inglés), teniendo en cuenta la intermitencia de las energías renovables y la creciente demanda de energía eléctrica. Se construyeron tres escenarios con bajo, medio y alto uso de biomasa, analizaron la contribución de energía eólica y solar en cada uno de los

escenarios, e identificaron la cantidad mínima de combustibles fósiles para cubrir la demanda sin importaciones de electricidad con la finalidad de cumplir con los objetivos de generación de electricidad a partir de energías limpias a 2024. Con los resultados se logró identificar la combinación óptima de biomasa, energía eólica y solar para producir al menos el 35% con energías renovables, teniendo una capacidad total mínima (Vidal, Østergaard, & Sheinbaum, 2015).

La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2015) desarrolló una hoja de ruta global de energía renovable llamada REmap 2030. Esto demostró cómo la proporción de energía renovable en la matriz energética global se puede duplicar para el año 2030, de manera realista y rentable. El estudio particular para México estimó una cartera de opciones tecnológicas para acelerar el despliegue de las energías renovables en todo el sistema energético. De acuerdo con sus resultados, la mitad del uso de las energías renovables estarán en el sector eléctrico. En particular, la energía eólica y solar fotovoltaica representarán el 26% de la generación total de electricidad en 2030.

Elizondo y colaboradores, en 2017 utilizaron la calculadora México 2050 a fin de realizar una evaluación integrada para la planificación energética y la mitigación del cambio climático en México. Mediante cuatro diferentes escenarios de largo plazo analizaron las opciones disponibles para asegurar el suministro de energía al país y reducir las emisiones de GEI. Su evaluación comparativa demostró que la generación de electricidad a partir de energías renovables contribuye a la disminución de emisiones de manera significativa, aunque también se destaca la importancia de implementar políticas de eficiencia energética y ahorro de energía (Elizondo, Pérez, Strapasson, Fernández, & Cruz, 2017).

Vidal y Sheinbaum, en 2018 evaluaron cuatro escenarios óptimos de integración de energías renovables para la generación de electricidad en México para cada año objetivo: 35% en 2024, 40% en 2030 y 50% en 2050, así como un 75% de electricidad con base en energías renovables para atender la demanda. También, examinaron un posible exceso de producción de electricidad. Mediante el modelo EnergyPLAN y la metodología de menor capacidad total, se obtuvo una solución para cada año objetivo, también se logró conocer la capacidad de ciclos combinados para que el sistema fuera autosuficiente (Vidal & Sheinbaum, 2018).

Recientemente se utilizaron modelos numéricos tecno-económicos para analizar el impacto de los objetivos nacionales de inclusión de energías renovables y cambio climático en los costos y estructura del SEN. Consideraron cuatro escenarios al 2050: BAU, objetivos nacionales de energías limpias, objetivos climáticos y energías renovables al cien por ciento. Los resultados muestran que los objetivos nacionales planteados son insuficientes, por lo que la meta para la incorporación de energías limpias en la generación de electricidad debería aumentar al 80% en 2050 (Sarmiento, Burantdt, Löffler, & Oei, 2019).

1.3. JUSTIFICACIÓN

El sector energético es estratégico para el desarrollo de México. Es uno de los más importantes para la economía, pues genera factores esenciales para todas las actividades productivas y el bienestar de las familias mexicanas. En particular, el sector eléctrico es una pieza clave para cumplir con los objetivos de mitigación de emisiones de GEI.

En este sentido, es necesario tener un panorama histórico del comportamiento del sector eléctrico, conocer las tecnologías y realizar cambios a fin de ampliar la participación de fuentes de energía limpia para la generación de energía eléctrica y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Se espera que México pueda lograr hacia una economía baja en emisiones, cumpliendo con los objetivos establecidos en los instrumentos de política pública de cambio climático.

Por tal razón, el presente estudio plantea diseñar y desarrollar un modelo energético que permita al SEN ser sustentable, utilizando los indicadores de desarrollo energético y ambiental que se plantean en la ENCC.

1.4. ALCANCE

El estudio se limita al diseño y desarrollo de un modelo energético basado en indicadores de sustentabilidad técnicos, económicos, sociales y ambientales propuestos por la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

El modelo considerará las expectativas de desarrollo económico y demográfico de México. Permitirá obtener escenarios de crecimiento y conocer sus implicaciones al año 2050.

En términos de modalidades de generación, se contemplarán las centrales de generación propiedad de Comisión Federal de Electricidad (CFE), Productores Independientes de Energía (PIE) y productores particulares (PP). El modelo no considera las centrales de generación distribuida, los sistemas rurales no interconectados reportados por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), ni la producción de electricidad mediante la tecnología de frenos regenerativos.

1.5. HIPÓTESIS

Es factible mediante el desarrollo de un modelo energético, evaluar el crecimiento del SEN tomando en cuenta indicadores sociales, económicos y ambientales, que le permitan ser sustentable al año 2050 y así cumplir con los objetivos propuestos en la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

1.6. OBJETIVO

Desarrollar un modelo energético e implementarlo en la herramienta en LEAP para evaluar la sustentabilidad ambiental del Sistema Eléctrico Nacional.

1.6.1. Objetivos particulares

- Analizar la información histórica, evolución y prospectivas del Sistema Eléctrico Nacional.
- Analizar la Estrategia Nacional de Cambio Climático para determinar indicadores de crecimiento del sistema eléctrico mexicano.
- Diseñar y desarrollar un modelo energético con la herramienta Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) del SEN.
- Evaluar el SEN con el modelo energético desarrollado.
- Generar recomendaciones de crecimiento del SEN.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SEN

El sector eléctrico presenta su mayor transformación en los últimos años. México ha transitado a una economía más sustentable, esto debido a la creciente competencia entre diferentes fuentes de energía, la diversificación del mercado eléctrico y programas de mejora continua. México se encuentra entre los mercados emergentes más atractivos para la generación con energías limpias (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

La participación de las energías limpias es cada vez mayor con la inversión privada y el fortalecimiento de la CFE. México cuenta con un enorme potencial de recursos renovables y gracias a las reformas implementadas, se han ido eliminando las barreras que impedían el desarrollo de tecnologías alternas, logrando un incremento en la generación limpia por encima de la energía fósil (SENERg, 2017).

La energía generada con tecnologías termoeléctrica convencional y carboeléctrica redujeron su participación, como resultado del retiro de centrales por altas emisiones contaminantes. A diferencia, la generación con energías limpias se incrementó paulatinamente, siendo la tecnología eólica y solar las de mayor incremento (SENERf, 2018).

2.2. TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES

El grupo de tecnologías convencionales se integra por centrales que generan energía eléctrica a partir de combustibles fósiles como energético primario y no cuentan con equipo de captura y almacenamiento de CO₂. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, este tipo de tecnologías contribuyen con el 18% de las emisiones totales de GEI a nivel nacional (SENERe, 2018).

En México se utilizan unidades de generación termoeléctricas con las siguientes tecnologías: ciclo combinado, térmica convencional de vapor, combustión interna, turbogás, carboeléctrica y lecho fluidizado. Ante el uso de dichas tecnologías, los combustibles fósiles más utilizados en los procesos de generación son gas natural, combustóleo, carbón, coque de petróleo y diésel (CEPAL, 2018).

2.2.1. Ciclo combinado

El gas natural, debido a su naturaleza de combustión limpia, se ha convertido en un combustible muy popular para la generación de electricidad. En los años setenta y ochenta, las opciones para la mayoría de los generadores de servicios eléctricos eran grandes plantas de carbón o centrales nucleares. Sin embargo, debido a los cambios económicos, ambientales y tecnológicos, el gas natural se ha convertido en el combustible elegido para las nuevas centrales eléctricas construidas desde la década de 1990. Las turbinas de gas de ciclo combinado son la tecnología dominante a base de gas natural. La tecnología ya está madura, por lo que se espera que los costos de inversión se mantengan estables (European Union, 2014).

En el proceso de generación en centrales de ciclo combinado los gases de escape de la turbina son aprovechados en una caldera de recuperación para generar vapor e impulsar una turbina en un proceso similar al de las centrales térmicas convencionales. Estas centrales se caracterizan por operar de forma continua, presentan altas eficiencias, sus costos de inversión son bajos y emiten en promedio 346 kilogramos de CO₂ por MWh (CFE, 2015).

A nivel global, una quinta parte de la generación de electricidad depende del gas natural. Estados Unidos de América es el mayor productor de electricidad a partir de dicho combustible, seguido por Rusia y Japón. México se ubica dentro de los primeros diez países con la mayor generación de electricidad a partir de gas natural.

En México predomina la generación eléctrica a partir de ciclos combinados. Actualmente existen 83 centrales eléctricas con una capacidad total instalada de 28,084 MW equivalente al 37% a nivel nacional. En cuanto a la producción de electricidad representan el 50% con 165,245 GWh (SENERe, 2018).

2.2.2. Termoeléctrica convencional

El principio de generación de una central termoeléctrica convencional es la transformación de agua en estado líquido a vapor, el cual se expande en una turbina y su energía se transforma en un movimiento mecánico para impulsar el generador eléctrico. Posteriormente, el vapor abandona la turbina y se transforma en estado líquido por medio de un condensador. Finalmente, se utiliza una bomba para aumentar la presión del fluido de trabajo y llevarlo otra vez al generador de vapor (CFE, 2015).

Las centrales termoeléctricas convencionales pueden utilizar gran variedad de combustibles, entre ellos: carbón, gas natural y derivados del petróleo como el diésel y el combustóleo, caracterizados por su alto nivel de emisiones contaminantes. En México se ha optado por sustituir esta tecnología por otras más eficientes y con menor impacto ambiental, en promedio emiten 680 kilogramos de CO₂ por cada MWh.

En el mundo, 5% de la electricidad se produce mediante petróleo y sus derivados. Japón y Arabia Saudita encabezan el listado de los principales países que generan electricidad con dichos combustibles. México se mantiene entre los diez primeros productores de electricidad con crudo y sus derivados.

En el país existen 59 centrales termoeléctricas convencionales cuya capacidad instalada total es de 12,546 MW, equivalente al 17% del total nacional y generaron 42,780 GWh que representan el 13% del total de la electricidad en 2017 (SENERe, 2018).

2.2.3. Carboeléctrica

La concepción básica de una central carboeléctrica es análoga a una central termoeléctrica convencional. El cambio principal radica en el generador de vapor, el cual es más complejo, de mayores dimensiones y con superficies más grandes para la transferencia de calor. Además, requiere equipos para el manejo, pulverización y secado del carbón; así como sistemas anticontaminantes como colectores de bolsas y equipos de desulfuración (CFE, 2015).

A pesar de tener una eficiencia mayor a las centrales termoeléctricas convencionales, el uso de carbón como combustible primario para la generación de electricidad origina importantes emisiones contaminantes, en promedio emite 773 kilogramos de CO₂ por MWh.

A nivel mundial el carbón representa la fuente principal de energía para la generación de electricidad. Los países con mayor generación eléctrica a partir de esta fuente energética son China y Estados Unidos de América.

México cuenta con tres centrales carboeléctricas cuya capacidad instalada es de 5,378 MW equivalente al 7% de la capacidad nacional, y generaron 30,557 GWh, que representa el 9% de la de energía eléctrica total en 2017 (SENERe, 2018).

2.2.4. Turbogás

Las turbinas de gas están compuestas de un compresor, una cámara de combustión y una turbina de expansión. El proceso de generación de electricidad inicia cuando el aire entra en el compresor; después de la compresión, el aire entra a la cámara de combustión, donde una parte proporciona el oxígeno necesario para realizar la combustión, mientras que la parte restante se utiliza para enfriar los gases y lograr la expansión de la turbina, provocando el movimiento mecánico que será transmitido al generador (CFE, 2015).

Las centrales de turbogás son utilizadas para atender la demanda punta gracias a sus cortos tiempos de arranque y alcance de plena carga; utilizan como fuentes de energía primarias gas natural y diésel, sus costos de inversión son bajos, sus eficiencias son bajas y emiten en promedio 59 kilogramos de CO₂ por MWh con gas, o más de 660 kilogramos de CO₂ por MWh con diésel.

En el país operan 131 centrales de turbogás que representan el 7% de la capacidad total con 5,136 MW y el 4% de la generación eléctrica con 12,849 GWh en 2017 (SENERe, 2018).

2.2.5. Combustión interna

El proceso de generación por combustión interna es equivalente al de una central termoeléctrica; sin embargo, la combustión se realiza dentro de un motor que somete al aire a una compresión muy elevada hasta alcanzar una temperatura tan alta, que, al entrar en contacto con el combustible, provoca el proceso de combustión (CFE, 2015).

La producción de electricidad mediante combustión interna se caracteriza por tener altos costos, por lo que solo se utilizan en demanda punta. También, se emplean como reserva de capacidad o unidades de emergencia. En general, utilizan diésel, pero los modelos más recientes pueden quemar diferentes combustibles como gas natural, gas asociado a petróleo crudo, biogás, combustibles vegetales y combustóleo. Sus emisiones promedio son de 688 kilogramos de CO₂ por MWh.

En 2017 operaron 248 centrales de combustión interna, equivalentes al 2.2% de la capacidad total con 1,634 MW y contribuyeron 1.2% de la generación de electricidad con 4006 GWh (SENERe, 2018).

2.2.6. Lecho fluidizado

Actualmente se están investigando tecnologías alternativas, como la de lecho fluidizado, sin embargo, aunque se esperan mejoras, no está previsto que esta tecnología llegue a cubrir grandes capacidades.

La tecnología de lecho fluidizado permite el uso de diversos combustibles sólidos, solos o combinados, para generar electricidad, como es el caso del carbón, biomasa, lodos, residuos municipales, residuos agrícolas, o coque de petróleo. Las centrales de lecho fluidizado son igual de eficientes que una carboeléctrica, a diferencia que contribuye a la reducción de emisiones de contaminantes debido al proceso de limpieza del gas antes de la combustión (SENERe, 2018).

En México existen dos centrales de lecho fluidizado que suman la capacidad de 580 MW, a partir de los cuales se generaron 4,329 GWh de electricidad en 2017, equivalente al 1.3% del total nacional.

2.3. TECNOLOGÍAS LIMPIAS

Con la finalidad de promover el desarrollo sustentable del sector, la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), incorporó el término “energías limpias” y las definió como aquellas fuentes de energía y procesos de producción de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los límites establecidos en disposiciones reglamentaria (DOF, 2014). De acuerdo con lo establecido en la Ley de Transición Energética (LTE), para que sea considerada una energía limpia sus emisiones de bióxido de carbono (CO_2) deberán ser menores a los 100 kilogramos por cada MWh (kg/MWh) y consideran el viento, la radiación solar, la energía oceánica, el calor de los yacimientos geotérmicos, los bioenergéticos, la energía proveniente de centrales hidroeléctricas, la energía nuclear, la energía generada por centrales de cogeneración eficiente y la energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento de CO_2 (SENERe, 2018).

2.3.1. Hidroeléctrica

La energía hidráulica es la principal fuente de energía renovable para la producción de electricidad en la actualidad, no produce emisiones de CO₂ durante su operación y tiene una vida útil muy larga. Además, este tipo de centrales tienen la ventaja de que se pueden ajustar de forma rápida y flexible a los cambios de carga repentinos ocasionados por la variación de la demanda eléctrica, debido a que los embalses sirven como medio de almacenamiento de energía. Sin embargo, la construcción de centrales hidroeléctricas a menudo altera la disponibilidad del agua, puede causar reubicación de poblaciones y tienen un impacto significativo en los ecosistemas existentes (REN21, 2018).

Una central hidroeléctrica aprovecha la energía potencial del agua para convertirla en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. El proceso consiste en hacer pasar un flujo de agua por una turbina hidráulica acoplada a un generador eléctrico (CFE, 2015).

Las plantas hidroeléctricas varían en diseño, capacidad y tamaño, de acuerdo con las condiciones topográficas y geológicas del lugar donde se encuentre disponible el recurso hídrico; tienen bajos costos de operación, pero sus costos de inversión son elevados debido a la magnitud de la construcción. Los proyectos se clasifican en grandes y pequeñas centrales con base en su tamaño (Pérez, Fernández, Vilariño, Montaña, & Maldonado, 2017).

A nivel mundial la adición a la capacidad hidroeléctrica se estimó en 19 GW en 2017, teniendo una capacidad total de 1,114 GW. Los países líderes en esta tecnología son: China, Brasil, Canadá, Estados Unidos, la Federación Rusa, India y Noruega, los cuales representan el 63% de la capacidad instalada a nivel mundial. La producción global de electricidad a partir de centrales hidroeléctricas fue de 4,185 TWh en 2017 (REN21, 2018).

La energía hidroeléctrica es la fuente de energía renovable que más contribuye a la generación de electricidad en México con 86 centrales en operación. En 2017, la generación hidroeléctrica representó el 10% de la producción total con 31,848 GWh y el 17% de la capacidad instalada del SEN con 12,642 MW (SENERe, 2018).

Históricamente, se ha comprobado la alta vulnerabilidad de esta fuente ante los fenómenos climatológicos por lo que se buscan alternativas que permitan mayor respaldo y se está fomentando la incorporación de pequeñas hidroeléctricas, mini hidroeléctricas y sistemas de rebombeo hídrico. De acuerdo con los estudios técnicos y económicos, se estima un potencial probado de 4,920 GWh anuales. (SENERd, 2018)

2.3.2. Eólica

La energía eólica se refiere a la energía cinética del viento utilizada para generar electricidad través de aerogeneradores. Las turbinas eólicas producen electricidad por medio de un rotor aerodinámico conectado a un generador eléctrico. La tecnología eólica tiene un despliegue importante debido a su desarrollo tecnológico y disminución de costos, convirtiéndola en una fuente de energía renovable de gran crecimiento. Es la tecnología de energía renovable más exitosa en las últimas dos décadas con respecto a las tasas de implementación (European Union, 2014).

En todo el mundo, la energía eólica se está convirtiendo rápidamente en una tecnología madura y rentable. En 2017 se instalaron 52 GW de energía eólica para la generación de electricidad a nivel mundial, con lo que se tiene una capacidad global de 539 GW (REN21, 2018).

Los países con la mayor capacidad instalada en parques eólicos son China, Estados Unidos de América, Alemania, España y Reino Unido, con la cual generan el 65% de la energía eólica mundial. México se ubica dentro de los primeros 20 países con la mayor generación de electricidad por medio del viento.

Las velocidades del viento en México son favorables en la mayor parte del territorio, con velocidades que oscilan entre 3 m/s y 10 m/s a 120 metros de altura. A pesar de las excelentes condiciones, el país cuenta con una capacidad instalada mínima en comparación con otros países con un potencial similar o menor (Pérez, Fernández, Vilariño, Montaña, & Maldonado, 2017). Se estima que el potencial probado de recursos eólicos para la generación de electricidad es de 25,104 GWh anuales (SENERd, 2018).

En México se ubican 45 centrales eólicas cuya capacidad instalada alcanza los 4,199 MW representando el 6% de la capacidad total instalada. Los parques eólicos aportan un 3% de la generación total con 10,620 GWh (SENERe, 2018).

2.3.3. Geotérmica

La energía geotérmica es la energía contenida como calor en el interior de la Tierra. A pesar de ser un recurso abundante, no se distribuye de manera uniforme y se encuentra a diferentes profundidades, lo que dificulta su explotación. Los recursos geotérmicos, como vapor natural y agua caliente, han sido explotados por décadas para generar electricidad. Los campos geotérmicos tienen la ventaja de ser inmunes a los efectos del clima y las estaciones, por lo que alcanzan un alto factor de planta en comparación con otras fuentes de energía renovable (Babier, 2002).

Las centrales geotérmicas operan con el mismo principio que las centrales convencionales, con la diferencia de que éstas obtienen el vapor del subsuelo. El vapor geotérmico se envía a un separador de humedad para transformar la energía cinética en mecánica, cuyo movimiento se transmite al generador para producir electricidad (CFE, 2015).

En 2017 la capacidad instalada para la generación de electricidad a partir de energía geotérmica creció 0.7 GW a nivel mundial, alcanzando un total de 12.8 GW. Los países con mayor contribución a la generación de electricidad mediante campos geotérmicos fueron Estados Unidos de América, Filipinas, Indonesia, Turquía, Nueva Zelanda, México, Italia, Islandia, Kenia y Japón (REN21, 2018).

México es uno de los principales productores de electricidad a partir de energía geotérmica a nivel mundial; cuenta con ocho centrales geotermoeléctricas, que representan el 1.2% de la capacidad total con 926 MW y generan 6,041 GWh, el 1.8% de la electricidad del país (SENERe, 2018).

Con la entrada en vigor de la nueva Ley de Energía Geotérmica en 2014, la industria se ha visto renovada por el interés en el desarrollo y aprovechamiento de los recursos geotérmicos del país, a través de la exploración y explotación de los yacimientos geotérmicos. Se estima que el potencial probado de recursos geotérmicos para la generación de electricidad es de 2,610 GWh anuales (SENERd, 2018).

2.3.4. Solar

La energía solar fotovoltaica ofrece oportunidades de reducir impactos ambientales y, sobre todo, mejorar aspectos sociales como la calidad de vida y el acceso a la energía a precios asequibles durante la etapa de operación.

La tecnología de una planta solar consiste en la conversión de la luz solar en electricidad por medio de un dispositivo semiconductor (celdas fotovoltaicas) o bien, mediante concentradores solares que elevan la temperatura de un fluido que pasa a una turbina conectada a un generador para producir electricidad.

El año 2017 fue un hito para esta tecnología: el mundo agregó más capacidad de la energía solar fotovoltaica que de cualquier otro tipo de tecnología de generación. El panorama global muestra un crecimiento acelerado en el uso de la energía solar fotovoltaica, ya que más del 55% del total de la capacidad de esta tecnología en el mundo se instaló en los últimos cuatro años (IRENA, 2018). La capacidad instalada a nivel mundial proveniente de plantas fotovoltaicas es de 402 GW, los países con mayor contribución son China, Estados Unidos de América, Japón y Alemania (REN21, 2018).

México cuenta con las condiciones naturales ideales para la instalación de sistemas fotovoltaicos. El territorio mexicano ofrece, de acuerdo con la NASA, insolación promedio de 5.56 kWh/m² por día. Los avances tecnológicos y la reducción de costos de esta tecnología respaldan la posibilidad de implementación, en un principio, en el sector residencial (Rosas, Zenón, & Morillón, 2019). Se estima que el potencial probado de recurso solar para la generación de electricidad es de 25,052 GWh anuales.

El país cuenta con 23 centrales fotovoltaicas en operación, mismas que tienen una capacidad instalada de 214 MW que representan menos del 0.4% de la capacidad instalada total, y aportan el 0.1% de la electricidad generando 344 GWh (SENERe, 2018).

El rápido crecimiento de la energía solar se debe en gran medida a la incorporación de nuevos proyectos y a las primeras tres subastas de largo plazo, que han servido para que más usuarios tengan acceso a electricidad, principalmente en las regiones apartadas o de difícil acceso a la red (SENERd, 2018).

2.3.5. Bioenergía

La bioenergía es la energía derivada de la conversión de biomasa, la cual puede ser utilizada directamente como combustible o transformada en líquidos y gases (biogás) que a su vez se utilizan en la generación de electricidad, a través de diferentes procesos. La bioenergía se puede considerar como un recurso renovable siempre y cuando se utilice la misma cantidad que se cultive (REN21, 2018).

La bioenergía juega un rol creciente en varios escenarios bajos en carbono y puede tener gran impacto en el sector transporte a largo plazo. La bioenergía puede contribuir a la reducción de GEI y proporcionar beneficios sociales, económicos y ambientales, sin embargo, su potencial sigue siendo un tema de debate respecto a la sostenibilidad de su producción y uso.

De acuerdo con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (DOF, 2008) la biomasa es un compuesto orgánico cuya materia se deriva de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país.

La bioenergía incrementó su participación en el proceso de generación de electricidad 7% entre 2016 y 2017 en el mundo, logrando un acumulado de 555 TWh al final del periodo. Los países con mayor contribución son China,

Estados Unidos de América, Brasil, Alemania, Japón, Reino Unido e India (REN21, 2018).

En el territorio mexicano existen excelentes condiciones para generar electricidad a partir de biomasa, por lo que se necesitan planes de acción para proporcionar otro tipo de residuos y darle un tratamiento adecuado para que puedan usarse de una manera más limpia y segura para generar electricidad y, en consecuencia, aumentar su participación en la matriz energética nacional.

En el caso de México, la mayoría de la biomasa para electricidad proviene del bagazo de caña de azúcar, pero hay una variedad de materias primas que podrían usarse para este propósito. México cuenta con 77 plantas generadoras, que representan el 1.3% de la capacidad total instalada (1,007 MW) del país y en 2017 emplearon algún tipo de biocombustible para producir 1,884 GWh (SENERe, 2018).

2.3.6. Nucleoeléctrica

La energía nuclear es una fuente energética que garantiza el abastecimiento eléctrico, frena las emisiones contaminantes, reduce la dependencia energética exterior y produce electricidad de forma constante con precios estables y predecibles. Así lo entienden cada vez más gobiernos que apuestan por el mantenimiento de las centrales nucleares en sus países y la construcción de nuevas plantas

Es una tecnología probada y con un mercado bien establecido. A través de nuevos diseños se busca lograr mejores rendimientos, confiabilidad y seguridad. La tecnología nuclear aprovecha la energía calorífica que se libera en un proceso fisicoquímico comúnmente llamado reacción nuclear para

generar electricidad. Existen dos tipos de reacción: la fisión nuclear y la fusión nuclear (European Union, 2014).

Una central nuclear sigue el mismo principio de operación de una central de tecnología convencional, con la diferencia de que no requiere de un proceso de combustión. El vapor necesario para poner en marcha la turbina se obtiene mediante el proceso de fisión de uranio.

La fisión se produce al chocar un neutrón contra un núcleo de uranio o plutonio dentro de un reactor. Partículas subatómicas y más neutrones que al chocar con otros núcleos de uranio o plutonio provocan una reacción en cadena. La energía generada se aprovecha mediante un refrigerante, el cual puede ser agua o sodio líquido. Este fluido absorbe el calor dentro del reactor y permite generar vapor de agua mediante un sistema secundario. El vapor generado se utiliza para impulsar una turbina de vapor y obtener electricidad mediante un generador eléctrico (CFE, 2015).

Los 450 reactores de potencia actualmente en operación en todo el mundo alcanzan una capacidad total de generación de 396.4 GW, que a su vez producen alrededor del 11.5% de la electricidad mundial. Estados Unidos de América y Francia son los países con mayor número de nucleoelectricas instaladas. Según el Organismo Internacional de Energía Atómica de Naciones Unidas (IAEA, por sus siglas en inglés), hay 55 unidades en construcción en países como China, India, Rusia, Corea del Sur, Finlandia o Francia. Todos ellos, conscientes de los problemas energéticos y medioambientales, construyen nuevas plantas nucleares porque consideran que la energía nuclear es una fuente esencial para el presente y futuro de sus países.

México cuenta con una sola central nucleoelectrica con una capacidad de 1,608 MW en 2017, cuya generación representó el 3% del total nacional (10,883 GWh) (SENERe, 2018).

2.4. COMPROMISOS DE EMISIONES DE GEI

México ha emprendido grandes retos para enfrentar el cambio climático. El Gobierno Federal llevó a cabo la actualización del INEGYCEI y, a partir de éste, se construyeron los INDC presentados ante las Naciones Unidas en 2015 y que constituyen la aportación de México al acuerdo global de la COP 21 (Gobierno de la República, 2014).

La meta no condicionada de México fue la reducción de emisiones de GEI en un 22% para el año 2030 frente a una línea base. Esta mitigación equivale a 210 MtCO_{2e}. De forma específica, el sector de generación de energía eléctrica podría contribuir con una reducción de 63 MtCO_{2e}, es decir, el 31% de sus emisiones (Figura 17), alrededor de una tercera parte de la meta nacional no condicionada (WWF & ICM, 2017) (INECC & SEMARNAT, 2018).

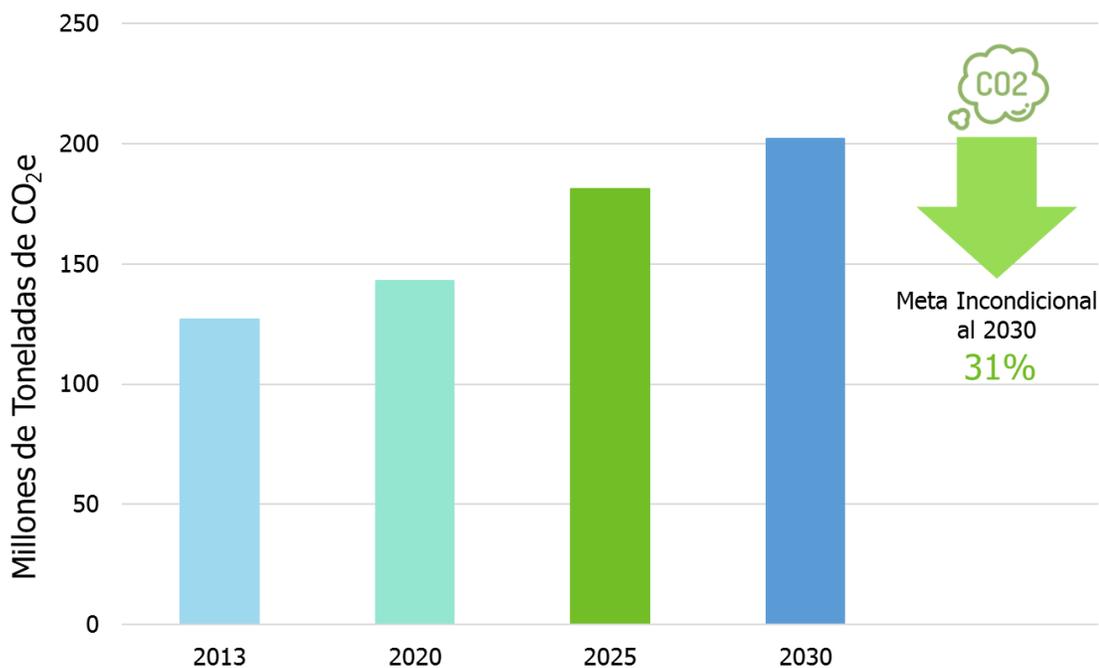


Figura 17. INDC del sector eléctrico.
Fuente: Elaboración propia con información de (Gobierno de la República, 2014).

2.5. METAS DE EMISIONES DE ENERGÍAS LIMPIAS

La LGCC reconoce el potencial del sector eléctrico para contribuir a la mitigación del cambio climático. Por ello, fomenta las prácticas de eficiencia energética y promueve el uso de fuentes renovables de energía para la generación de electricidad. Asimismo, señala la importancia del desarrollo de incentivos a la inversión tanto pública como privada en la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables y la inclusión de los costos de las externalidades sociales y ambientales (Mendivil & Niño, 2016).

Por su parte, la ENCC plantea como meta acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia, mediante la sustitución de combustibles fósiles, el fortalecimiento de esquemas regulatorios, institucionales y económicos y la reducción de impactos ambientales y sociales (Gobierno de la República, 2013).

La Ley de Transición Energética (LTE) establece metas de energías limpias (Figura 18) a fin de que el consumo de energía eléctrica se satisfaga mediante un portafolio de alternativas que conlleven a una reducción de emisiones, que promuevan la eficiencia energética y que sean económicamente viables. Esta ley promueve y genera instrumentos de planeación de incentivos para la ejecución de proyectos de energías renovables en el país (DOF, 2015).



Figura 18. Porcentajes de participación de energías limpias.
Fuente: Elaboración propia con información de (DOF, 2015).

2.6. PLATAFORMA LEAP

El Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas a Largo Plazo (LEAP por sus siglas en inglés) es una herramienta de software ampliamente utilizada para el análisis de políticas energéticas y evaluación de escenarios de mitigación del cambio climático desarrollada en el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI por sus siglas en inglés).

LEAP ha sido adoptado por miles de organizaciones en todo el mundo gracias a su flexibilidad y facilidad de uso. Sus usuarios incluyen agencias gubernamentales, académicos, organizaciones no gubernamentales, empresas consultoras y empresas de energía. Se utiliza en muchas escalas diferentes, desde ciudades y estados hasta aplicaciones nacionales, regionales y globales.

El software se ha convertido rápidamente en el estándar para los países que realizan la planificación integrada de recursos, las evaluaciones de mitigación de GEI y las Estrategias de Desarrollo de Baja Emisión (LEDS por sus siglas en inglés), y muchos países también han optado por utilizar LEAP como parte de su compromiso de informar a la CMNUCC.

LEAP no es un modelo de un sistema de energía en particular, sino una herramienta que se puede usar para crear modelos de diferentes sistemas de energía, donde cada uno requiere sus propias estructuras de datos. Las versiones más recientes también admiten el modelado de optimización, es decir, permiten la construcción de modelos de menor costo de expansión y despacho de capacidad del sistema eléctrico, bajo diversas restricciones, como los límites de CO₂. Esta capacidad funciona a través de la integración con el Sistema de Modelado de Energía de Código abierto (OSeMOSYS por sus siglas en inglés) que ha sido desarrollado por una coalición de organizaciones (Figura 19).

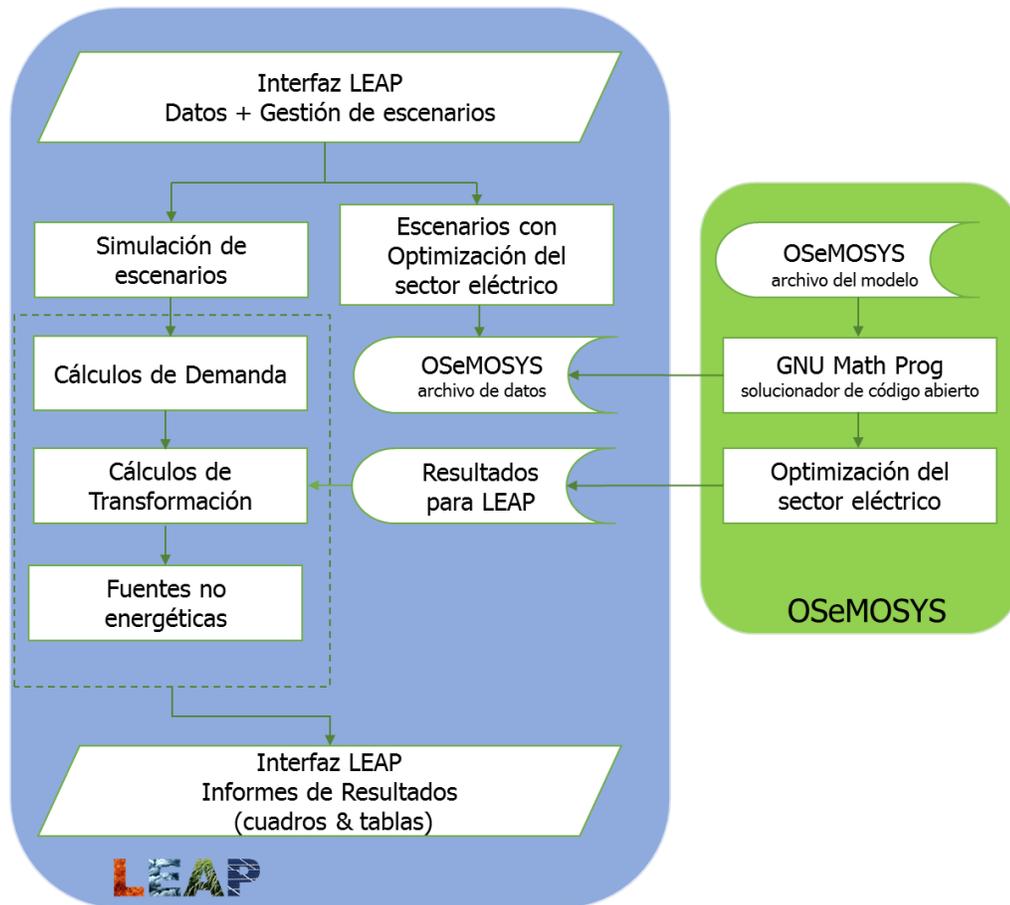


Figura 19. Rutina de modelado y vínculo entre LEAP - OSeMOSYS.
Fuente: Elaboración propia, adaptación de (Howells, et al., 2011).

OSeMOSYS a su vez depende del kit de programación lineal de GNU (GLPK), un kit de herramientas de software destinado a resolver problemas de programación lineal a gran escala mediante el método simplex revisado. Tanto OSeMOSYS como GLPK son herramientas de código abierto y distribuidas libremente. Ambos están incluidos como parte de la instalación estándar y están completamente integrados en la interfaz de usuario de LEAP (Howells, et al., 2011).

LEAP está pensado como una herramienta de modelado a medio y largo plazo. La mayoría de sus cálculos se realizan en un período de tiempo anual, y el horizonte de tiempo puede extenderse por un número ilimitado de años. Los estudios generalmente incluyen un período histórico, en el cual el modelo se ejecuta para probar su capacidad para replicar datos estadísticos conocidos, así como múltiples escenarios prospectivos. Normalmente, la mayoría de los estudios utilizan un período de pronóstico de entre 20 y 50 años.

El programa está diseñado en torno al concepto de análisis de escenarios que muestran historias coherentes acerca de cómo un sistema de energía podría evolucionar con el tiempo. Al usar LEAP, el usuario puede crear bases de datos, realizar proyecciones, analizar políticas, evaluar escenarios alternativos comparando sus requerimientos de energía, sus costos y beneficios sociales y sus impactos ambientales, así como evaluar inversiones y acciones energéticas alternativas.

LEAP ayuda a examinar una amplia gama de tecnologías, identificar problemas potenciales, proyectar la situación de oferta y demanda energética, y encontrar estrategias que permitan resolver problemas ambientales y energéticos de la mejor manera posible.

LEAP incluye una serie de herramientas integradas que facilitan la creación de modelos y proyecciones complejas. El asistente de series de tiempo le permite crear interpolaciones, funciones de pasos y varios pronósticos de tendencias ya sea ingresando datos directamente, importando datos o creando un enlace a una hoja de cálculo de Excel.



Esta herramienta computacional permite a los usuarios crear estructuras de datos y escenarios e ingresar todos los datos que describen los años históricos y los escenarios de futuro. Los resultados se pueden mostrar como gráficos, tablas e incluso mapas, además, el software tiene la capacidad de generar resultados automáticamente como informes de balance de energía en formato de tabla y diagrama de Sankey. Incluye una base de datos de tecnología y medio ambiente (TED) que describe las características técnicas, los costos y los impactos ambientales de una gama de tecnologías energéticas, incluidas las tecnologías existentes, las mejores prácticas actuales y los dispositivos de próxima generación (Heaps, 2016).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DEL SEN

Como una primera etapa de la metodología se buscó y recopiló información histórica disponible del SEN para un período de análisis del año 2013 al 2017, considerando la capacidad instalada y generación de energía eléctrica por tipo de tecnología, consumo final de energía eléctrica, combustibles, eficiencias de las tecnologías, factores de planta, costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, tiempo de vida técnico, reservas de recursos fósiles y potencial probado de recursos renovables.

3.2. ANÁLISIS DE LA ENCC

Considerando los ejes estratégicos y líneas de acción de la ENCC para atender las prioridades nacionales, se reconocen los objetivos y acciones específicas del sector eléctrico como es la integración de tecnologías limpias para acelerar la transición energética; la promoción de incentivos para el uso de combustibles no fósiles, la eficiencia energética y ahorro de energía; así como la reducción de emisiones y contaminantes por la generación de electricidad.

3.3. DESARROLLO DEL MODELO ENERGÉTICO

Debido a la situación actual, se tiene la necesidad de contar con una herramienta que permita evaluar de manera flexible la evolución del SEN. El Modelo Energético del Sistema Eléctrico Mexicano al 2050 (SEN-50) propuesto en esta tesis, está estructurado en el programa LEAP, una herramienta computacional que permite evaluar diversos escenarios de política energética, desarrollo económico, crecimiento demográfico, progreso tecnológico e impacto de emisiones de GEI.

El SEN-50 representa todo el sistema eléctrico mexicano e incluye la demanda de los distintos sectores económicos tales como: residencial, comercial, servicios, industrial y agropecuario; los centros de transformación energética como son las centrales eléctricas; así como también variables macroeconómicas como el crecimiento de la población.

El modelo opera para un período de tiempo del año 2017 al año 2050; incluye un período histórico con datos estadísticos del año 2013 al 2017 que permiten calibrar el modelo, esto debido a que se cuenta con información disponible de documentos oficiales.

Su estructura está formada por cuatro módulos principales: variables de usuario, demanda, transformación y recursos, en los que se representa la integración de los sectores de transformación y consumo de electricidad (Figura 20).

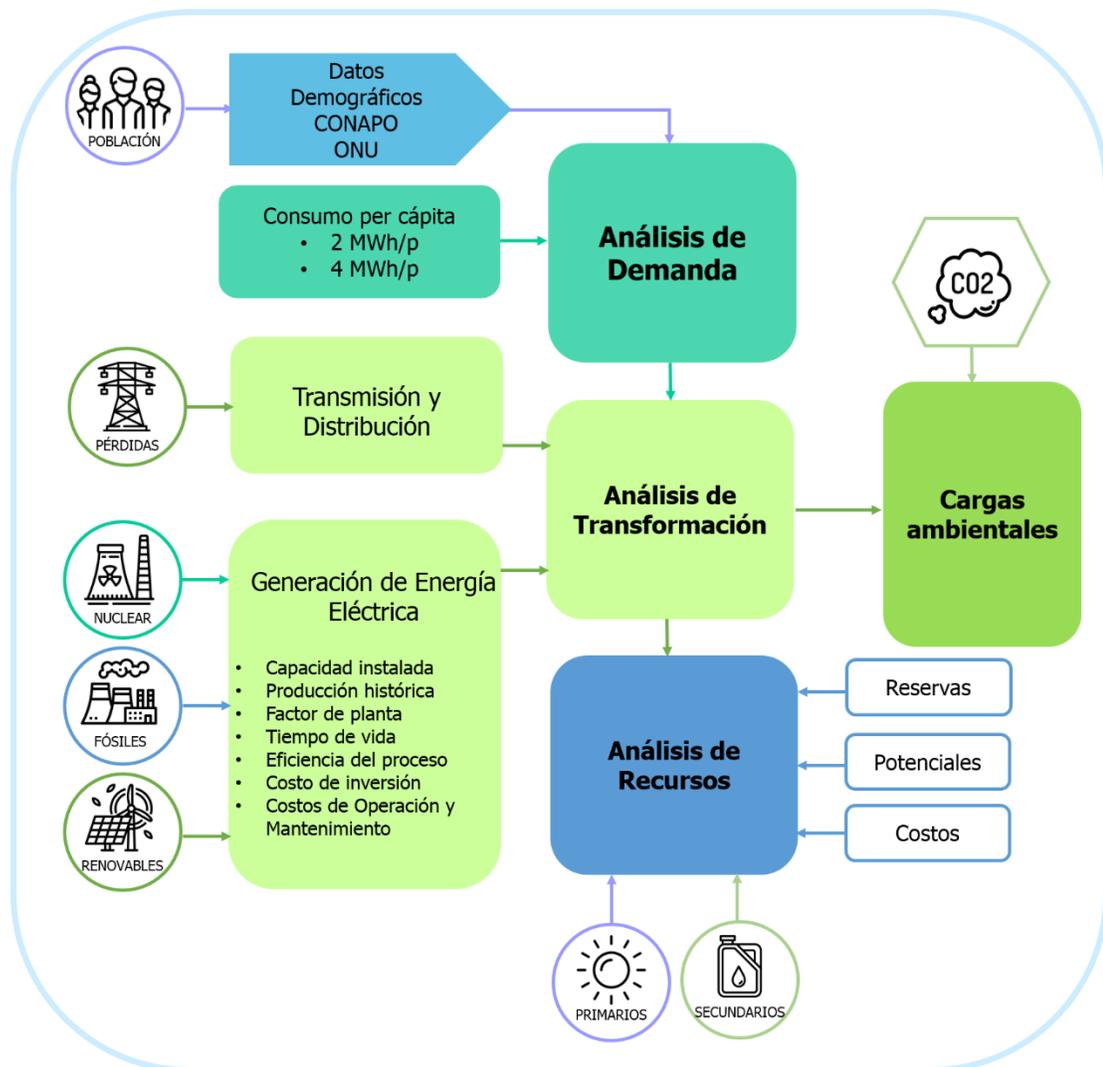


Figura 20. Representación esquemática del SEN-50.

El modelo propuesto considera el crecimiento de la población como una función para determinar la demanda de electricidad, se centra en la producción de energía eléctrica y se basa en una lista detallada de tecnologías de generación. Los procesos de producción incluyen 27 tecnologías, de las cuales 13 son existentes y el resto son alternativas.

3.3.1. Módulo de variables de usuario

En este módulo se crean y organizan variables independientes auxiliares en los cálculos de demanda, transformación y recursos; las variables son definidas por el usuario y pueden o no interactuar con los cálculos en LEAP; algunas se incluyen solo con fines informativos o para un posible uso posterior.

En la mayoría de los estudios de modelado de sistemas energéticos se emplean indicadores socioeconómicos para describir el comportamiento de la demanda. Los más usuales son el producto interno bruto (PIB), el consumo final de energía y el crecimiento demográfico. En este caso, la variable demográfica se define como el número de habitantes (Tabla 1) y su proyección hasta el 2050 de acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO) (Tabla 2), por ser la instancia gubernamental mexicana que tiene por objetivo regular el crecimiento de la población, los movimientos demográficos y la distribución de los habitantes. De acuerdo con la Ley General de Población, está entre sus responsabilidades analizar, evaluar, sistematizar y producir información sobre los fenómenos demográficos, así como elaborar proyecciones de población. (CONAPO, 2016).

Tabla 1. Población histórica a mitad de año para México.
Fuente: (CONAPO, 2016)

AÑO	POBLACIÓN TOTAL [millones de personas]
2013	117.69
2014	119.22
2015	120.65
2016	122.04
2017	123.39

Tabla 2. Proyecciones de población a mitad de año para México.
Fuente: (CONAPO, 2016)

AÑO	POBLACIÓN TOTAL [millones de personas]
2020	127.19
2025	132.84
2030	137.64
2035	141.59
2040	144.68
2045	146.87
2050	148.13

3.3.2. Módulo de demanda de energía

El análisis de la demanda se realiza mediante un método desagregado, basado en consumos finales. En este módulo se crea la estructura de los sectores de demanda de electricidad: residencial, comercial, servicios, industrial y agrícola.

Para este estudio en particular la demanda de electricidad se define en función de modelos poblacionales y se considera el consumo per cápita como indicador para conocer la evolución del consumo de electricidad. Se toma en cuenta el consumo final de electricidad reportado en el PRODESEN (SENERe, 2018) y la población total de acuerdo con (CONAPO, 2016) para conocer el consumo histórico en kilowatt-hora por persona (kWh/p) (Tabla 3).

Tabla 3. Consumo total y consumo per cápita de electricidad.
Fuente: (SENERe, 2018)

AÑO	CONSUMO TOTAL [GWh]	CONSUMO PER CÁPITA [kWh/p]
2013	222,829.39	1,893.39
2014	228,634.56	1,917.81
2015	237,199.41	1,965.96
2016	248,191.95	2,033.71
2017	258,971.03	2,098.83

3.3.3. Módulo de transformación de energía

En este módulo se crea una estructura de los sectores de transformación de energía primaria y secundaria. Cada sector contiene uno o más módulos que a su vez contienen procesos que representan tecnologías de conversión energética.

En general se tienen dos procesos de transformación:

- Transformación y distribución de electricidad: este proceso se utiliza para representar las pérdidas por transmisión y distribución de energía eléctrica.
- Generación de energía eléctrica: este proceso se representa con mayor detalle debido a que involucra diversas tecnologías. Está integrado por 13 tecnologías que simulan la producción de energía existente, acompañadas de sus características. También se incluyen tecnologías nuevas o en desarrollo.

Se considera la información histórica de la capacidad instalada (Tabla 4) y producción de electricidad por tipo de tecnología (Tabla 5) de acuerdo con los reportes del PRODESEN (SENERe, 2018) y las prospectivas del sector eléctrico publicadas anualmente (SENERf, 2018).



Tabla 4. Capacidad instalada por tipo de tecnología en México, 2013-2017.

CAPACIDAD INSTALADA [MW]					
Tecnología	2013	2014	2015	2016	2017
Convencional	7,511.56	7,437.86	48,778.39	52,331.12	53,357.88
Ciclo combinado	22,976.68	23,455.97	24,042.66	27,274.19	28,083.77
Termoeléctrica convencional	13,217.43	12,657.47	12,710.67	12,593.67	12,545.57
Carboeléctrica	5,378.00	5,378.36	5,378.36	5,378.36	5,378.36
Turbogás	4,213.00	4,214.18	4,903.65	5,052.31	5,135.73
Combustión Interna	1,146.45	1,151.88	1,185.71	1,452.60	1,634.46
Lecho fluidizado	580.00	580.00	580.00	580.00	580.00
Limpia	16,619.45	18,014.29	19,265.66	21,179.32	22,327.39
<i>Renovable</i>	14,721.85	15,364.47	16,406.24	18,528.71	19,462.18
Hidroeléctrica	11,708.94	12,458.44	12,488.50	12,588.99	12,642.29
Eólica	1,611.35	2,036.40	2,805.10	3,735.40	4,198.98
Geotérmica	823.40	813.40	884.00	908.60	925.60
Solar	46.32	55.92	56.33	145.03	213.73
Bioenergía	531.84	684.56	759.76	888.78	1,007.18
Generación Distribuida (GD)	-		118.00	247.60	434.00
FIRCO	-	0.31	13.00	14.32	40.40
Otras	1,897.61	1,965.26	2,099.66	2,650.62	2,865.22
Nucleoeléctrica	1,400.00	1,400.00	1,510.00	1,608.00	1,608.00
Cogeneración eficiente	491.00	558.65	583.05	1,036.01	1,250.61
Frenos regenerativos	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61
Total	64,131.01	65,452.15	68,024.70	73,510.45	75,685.28



Tabla 5. Generación por tipo de tecnología en México, 2013-2017.

GENERACIÓN POR TIPO DE TECNOLOGÍA [GWh]					
Tecnología	2013	2014	2015	2016	2017
Convencional	244,169.99	236,102.65	246,600.65	254,495.55	259,765.73
Ciclo combinado	144,380.20	149,489.80	155,185.44	160,378.26	165,245.26
Termoeléctrica	52,142.78	37,219.22	39,231.52	40,343.42	42,780.50
Carboeléctrica	31,628.00	33,612.92	33,599.19	34,208.20	30,557.10
Turbogás	9,485.81	9,125.81	11,647.59	12,599.60	12,848.65
Combustión Interna	2,270.21	2,308.21	2,650.65	3,140.33	4,005.66
Lecho fluidizado	4,263.00	4,346.70	4,286.26	3,825.74	4,328.57
Limpia	52,924.77	65,359.90	62,952.19	64,867.98	69,396.52
Renovable	39,668.77	51,403.80	46,207.02	49,244.21	51,578.40
Hidroeléctrica	28,028.77	38,892.77	30,891.54	30,909.34	31,847.66
Eólica	4,185.00	6,426.20	8,745.09	10,462.58	10,619.66
Geotérmica	6,070.00	5,999.65	6,330.98	6,148.29	6,041.19
Solar	19.00	84.74	78.21	159.99	343.69
Bioenergía	1,366.00	1,386.89	1,369.22	1,471.43	1,883.73
Generación Distribuida	-	-	-	56.46	760.36
FIRCO	-	0.44	161.19	36.12	82.11
Otras	13,256.00	12,569.22	15,375.96	15,623.77	17,818.12
Nucleoeléctrica	11,800.00	9,677.21	11,577.14	10,567.17	10,882.86
Cogeneración eficiente	,456.00	2,892.01	3,795.22	5,053.00	6,931.66
Frenos regenerativos	-	-	3.60	3.60	3.60
Total	297,094.76	301,463.40	309,553.00	319,362.00	329,164.00

Las tecnologías se caracterizaron (Tabla 6) según el tiempo de vida técnico, el factor de planta, su eficiencia, el costo de inversión, y los costos de operación y mantenimiento fijos y variables (SENERe, 2018). En cuanto al indicador de eficiencia energética no aplica para las tecnologías renovables, ya que por convención se asume que dichas centrales tienen una transformación al 100% debido a que el recurso es ilimitado y no cuesta (CEPAL, 2018).

Tabla 6. Características básicas de las centrales eléctricas en operación (SENERe, 2018).

Tecnología	Eficiencia	Factor de Planta	Costos de Inversión	Costos de O&M Fijos	Costos de O&M Variables	Tiempo de vida
	%	%	US\$/kW	US\$/kW	US\$/kW	años
Ciclo combinado	46	56	1,013.2	19.0	3.3	40
Termoeléctrica convencional	30	33	2,045.1	35.8	3.0	30
Carboeléctrica	39	61	1,425.5	33.8	2.4	40
Turbogás	23	23	813.2	5.1	4.8	30
Combustión Interna	31	10	2,877.3	46.4	5.2	25
Lecho fluidizado	38	85	1,438.0	35.0	3.0	40
Hidroeléctrica	-	40	1,931.2	24.4	-	60
Eólica	-	27	1,423.0	38.1	-	25
Geotérmica	-	73	1,889.6	105.1	0.1	30
Solar	-	16	1,197.5	10.7	-	30
Bioenergía	13	21	2,810.0	34.0	3.0	30
Nucleoeléctrica	34	77	3,988.5	101.1	2.4	60
Cogeneración eficiente	34	55	3,067.0	34.0	3.0	30
Termosolar	-	-	6,606.9	48.6	-	35

De acuerdo con el Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE), se capturó en una base de datos del listado de centrales eléctricas en operación al año 2017. Se clasificaron de acuerdo a la tecnología y se incluyeron datos como: la entidad federativa, la región de control a la que pertenecen, el esquema de operación, el combustible que utilizan, la capacidad instalada y la producción de cada una de las plantas de generación (Apéndice A).

3.3.4. Propuesta de Escenarios

El modelo SEN-50 considera el crecimiento de la población como una función para determinar la demanda de electricidad. Se utilizaron estimaciones oficiales de las Prospectivas Mundiales de Población de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Tabla 7), basadas en las proyecciones probabilísticas de la fertilidad total y la esperanza de vida al nacer. La metodología de la ONU para estimar la población y sus prospectivas presenta un modelo de baja fertilidad (LVF por sus siglas en inglés) y otro con un crecimiento constante (CVF por sus siglas en inglés) (ONU, 2017).

Tabla 7. Perspectiva de la población al año 2050.
Fuente: (ONU, 2017).

AÑO	POBLACIÓN TOTAL [millones de personas]	
	LVF	CVF
2020	128.60	134.40
2025	132.17	142.90
2030	134.89	151.16
2035	136.56	159.07
2040	137.00	166.63
2045	136.16	173.88
2050	134.123	180.776

Se consideran dos escenarios de consumo per cápita: el primero con un valor de 2.0 MWh, con base en el consumo promedio del período 2000 al 2015 en México, de acuerdo con datos de la IEA, y el segundo con un valor de 4.0 MWh, considerando el consumo de algunos países desarrollados durante el 2015 según datos reportados por la IEA (Figura 21).

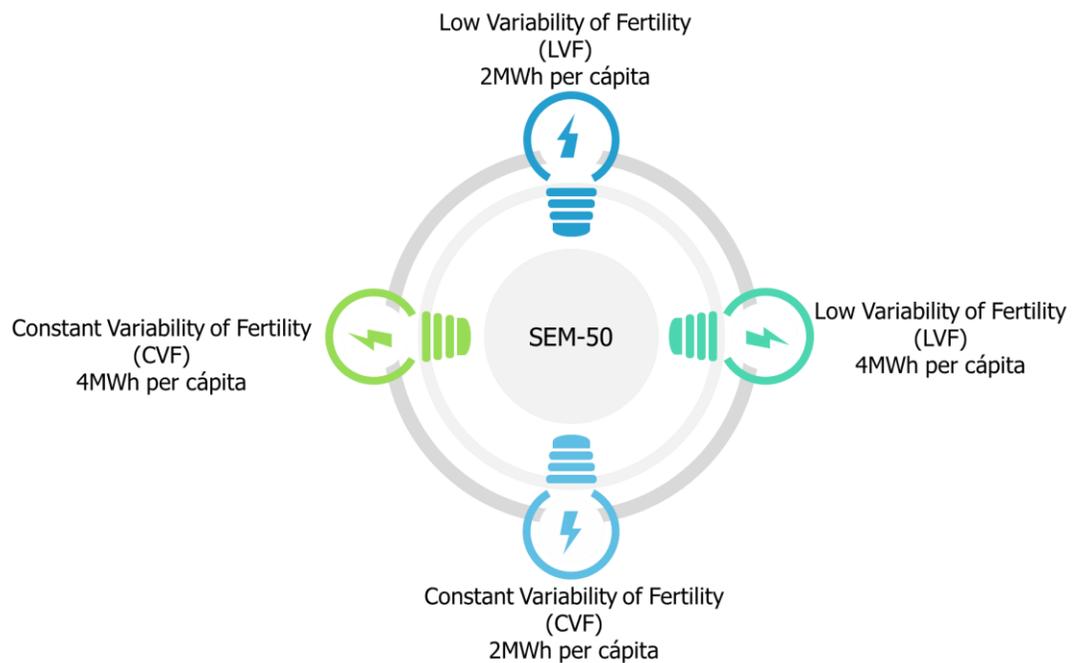


Figura 21. Escenarios propuestos para evaluar el SEN.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ANÁLISIS DE LAS PROSPECTIVAS DEL SEN

Mediante el análisis de las perspectivas del sector energético se determinaron los indicadores que utiliza la SENER para llevar a cabo los ejercicios de planeación del SEN (Figura 22), así como también, permitió conocer la evolución que ha tenido el sector en los últimos años a partir de la reforma energética.



Figura 22. Indicadores de planeación (SENERf, 2018).

Al revisar la ENCC se identificaron los pilares y líneas de acción que se enfocan en el sector energético, de igual manera, se reconocieron los objetivos principales a 10, 20 y 40 años que permitirán llegar a la visión planteada del sector energético (Figura 23). La ENCC también plantea cinco ejes estratégicos en materia mitigación del cambio climático, de los cuales tres impactan en el desarrollo del SEN (Figura 24).

10años

20años

40años

Rubro ENERGÍA

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tecnologías limpias integradas al desarrollo productivo nacional. ✓ Esquemas socioeconómicos incentivan el uso de energías limpias. ✓ Sistema de incentivos promueve las mayores ventajas del uso de combustibles no fósiles, la eficiencia energética, el ahorro de energía y el transporte público sustentable con relación al uso de los combustibles fósiles. ✓ Cerca de alcanzar el 35% de la generación eléctrica proveniente de fuentes limpias. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Al menos 40% de la generación de energía eléctrica proviene de fuentes limpias. ✓ La generación de electricidad mediante fuentes limpias crea empleos, incluyendo a los sectores vulnerables. ✓ Los sectores residencial, turístico e industrial utilizan fuentes diversas de energía limpia, esquemas de eficiencia energética y ahorro de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La generación de energía limpia soporta el desarrollo económico de todos los sectores productivos de forma equitativa y sustentable. ✓ Al menos el 50% de la generación de energía eléctrica proviene de fuentes limpias.

Figura 23. Ruta 10-20-40.

Fuente: Elaboración propia con información de (Gobierno de la República, 2013).

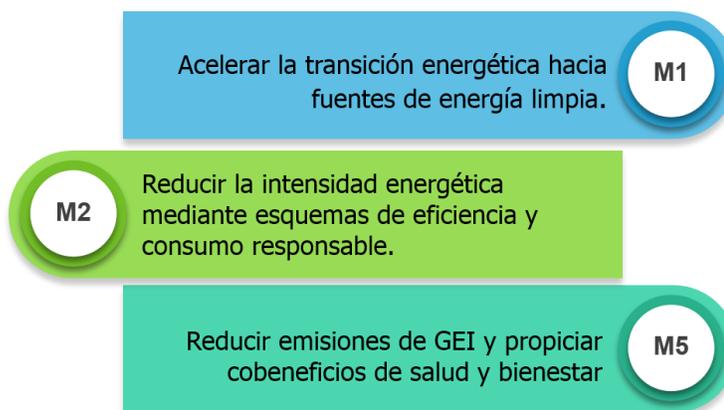


Figura 24. Metas de mitigación de la ENCC enfocadas en el SEN.

Fuente: Elaboración propia con información de (Gobierno de la República, 2013)

Con lo anterior se determinaron los indicadores a utilizar en el modelo, así como esclarecer las metas de inclusión de energía limpia para la generación de electricidad y los objetivos de reducción de emisiones de GEI.

4.2. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN

De acuerdo con el PRODESEN emitido por la SENER en el año 2018, se consideraron trece tecnologías de generación de electricidad, las cuales a su vez se clasifican en fósiles y limpias, de acuerdo con el combustible que emplean (Tabla 8).

Tabla 8. Listado de tecnologías de generación.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERe, 2018)

 FÓSILES	 LIMPIAS
Ciclo combinado	Hidroeléctrica
Termoeléctrica convencional	Eólica
Carboeléctrica	Geotermoeléctrica
Turbogás	Solar
Combustión interna	Bioenergía
Lecho fluidizado	Nuclear
	Cogeneración eficiente

El modelo SEN-50 no considera la aportación de tecnologías como la generación distribuida (varias tecnologías), los frenos regenerativos y proyectos del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).

En términos de modalidades de generación vigentes, se considera la participación de las centrales de generación propiedad de la CFE, centrales de PIE's y la aportación de productores particulares.

4.3. DEMANDA DE ELECTRICIDAD AL AÑO 2050

Conforme a los modelos poblacionales seleccionados, CONAPO estima que la población en México será de 148,134,871 habitantes en el año 2050. Por su parte, las proyecciones de población mundial de la ONU bajo el escenario LVF estima que para el año 2050 la población será de 134,123,000 personas, mientras que el escenario CVF calcula que habrá 180,776,000 habitantes (Figura 25).

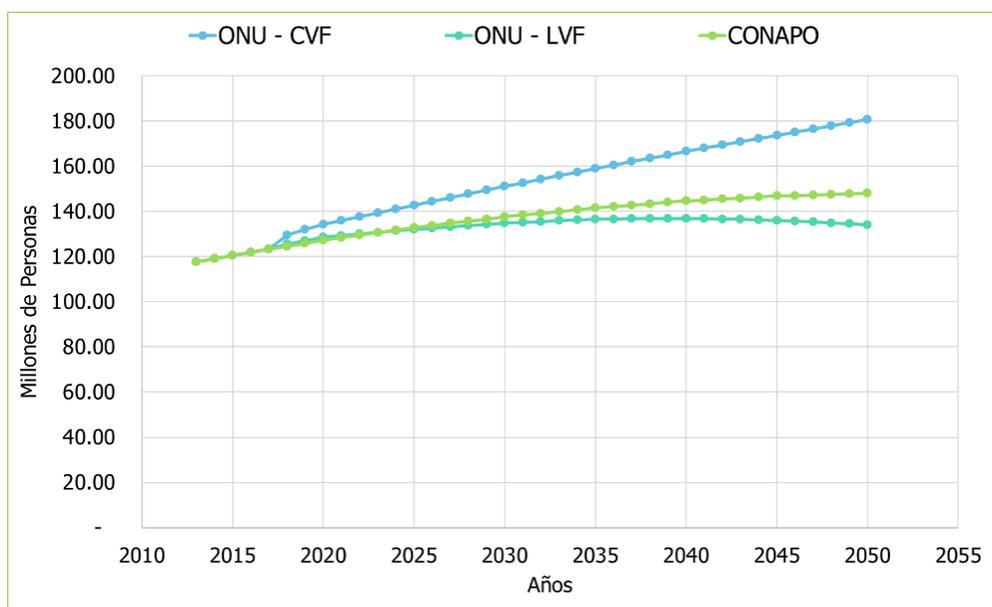


Figura 25. Proyecciones de crecimiento poblacional en México.
Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAPO, 2016) y (ONU, 2017).

De acuerdo con los modelos poblacionales del CONAPO y la ONU antes descritos y los consumos per cápita tomados de la IEA, se logró estimar la demanda de energía eléctrica esperada para el año 2050 (Figura 26).

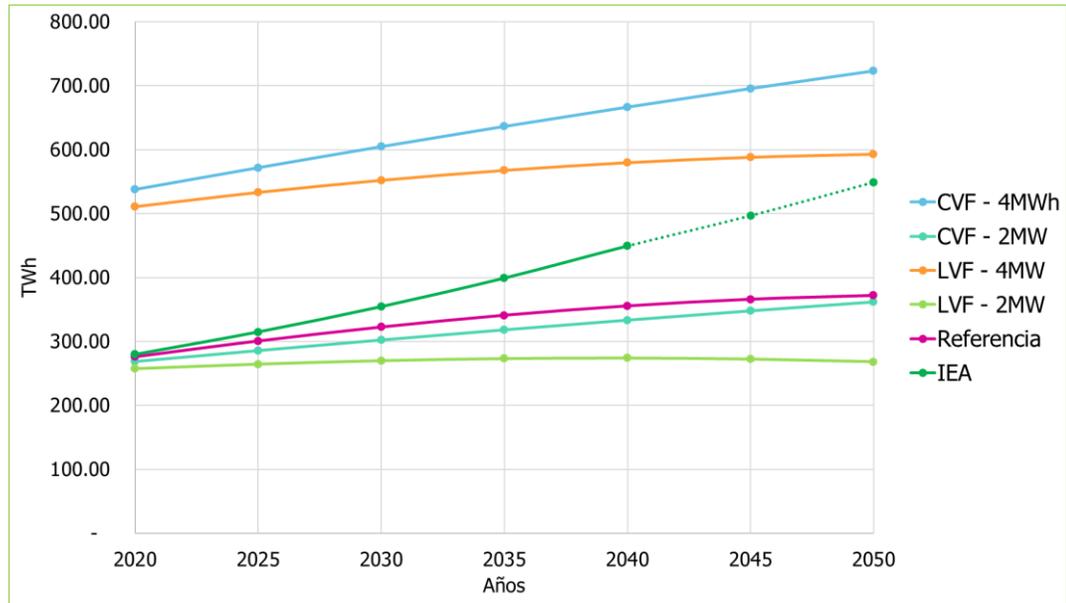


Figura 26. Proyecciones de demanda de energía eléctrica al año 2050.
Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAPO, 2016) (IEA, 2016) (SENERe, 2018).

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA), la demanda de electricidad en México crecerá a una tasa anual del 2.4% alcanzando los 459 TWh en 2040 (IEA, 2016). Al hacer un análisis se puede inferir que las proyecciones de IEA se encuentran dentro del intervalo de las demandas esperadas del modelo SEN-50.

4.4. ESCENARIO DE REFERENCIA

El escenario de referencia se alinea al PRODESEN 2018-2032 de acuerdo con el retiro e instalación de nuevas centrales eléctricas, toma en cuenta los datos de las proyecciones de población del CONAPO y estima el valor del consumo de electricidad per cápita en base a la información reportada por SENER.

Como resultado de la expansión del sistema eléctrico, se estima que, en el año 2032, la capacidad total será de 130 GW (Figura 27), al considerar la evolución anual de las adiciones y los retiros de las unidades generadoras que integran al SEN. Se ha programado el retiro de 11 GW para el periodo 2018-2032, se prevé el retiro de centrales termoeléctricas convencionales principalmente. En cuanto a la instalación de nuevas centrales eléctricas, se espera que sea un acumulado de 66 GW. Los ciclos combinados, así como las centrales eólicas predominan en la infraestructura de generación eléctrica.

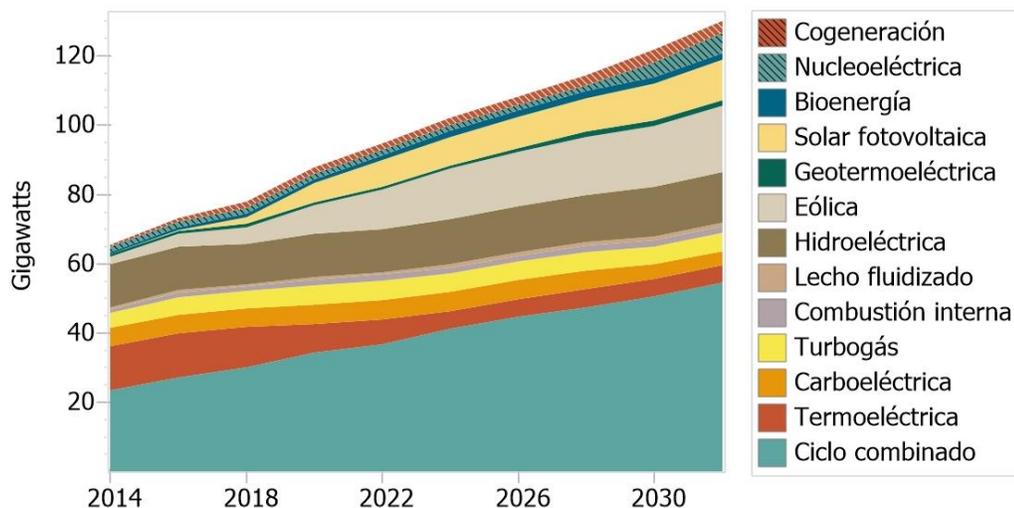


Figura 27. Evolución de la capacidad instalada, 2018-2032.
Fuente: Elaboración propia con información de (SENERe, 2018).

La matriz para la generación de electricidad se descarboniza paulatinamente. La proporción de generación de electricidad basada en energías limpias aumenta a 49.79% en el horizonte de planeación 2017-2050, bajo el impulso de la política gubernamental para aumentar el uso de energía limpia, mientras que la generación a partir de fuentes de energía fósiles representa el 50.22%. La generación de electricidad aumenta de 329 TWh en 2017 a una cartera mucho más diversa de 409 TWh en 2050 (Figura 28).

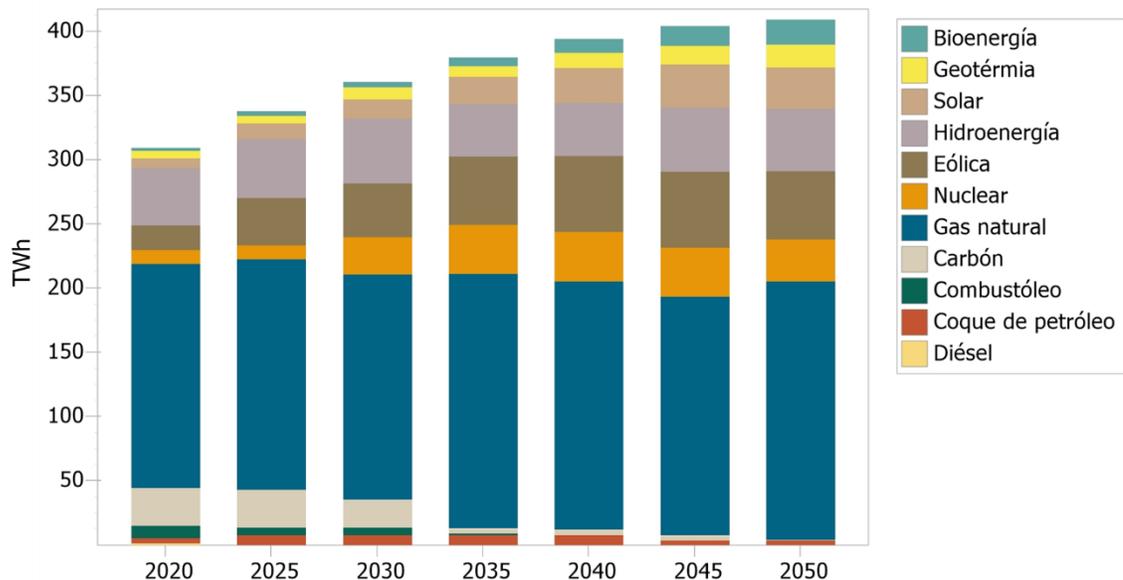


Figura 28. Escenario de Referencia.
Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAPO, 2016) (SENERe, 2018).

Entre las diferentes tecnologías renovables, las centrales eólicas son las que más contribuyen a la generación de energía eléctrica con un 12.99% en 2050. El aumento de la energía hidroeléctrica es mucho más lento, sin embargo, aporta el 11.80% a la producción de electricidad. La energía solar fotovoltaica crece rápidamente, generando el 7.90% al final del periodo. La bioenergía tiene una participación del 4.70%, mientras que los campos geotérmicos contribuyen con el 4.34%. La adición de nuevas unidades nucleares aumenta la participación de esta tecnología con un aporte del 8.05%.

El gas sigue siendo la fuente de energía dominante, representando alrededor del 49.21% de la generación total de electricidad al final el período de proyección. La contribución de los derivados del petróleo y el carbón disminuye considerablemente. Al final del periodo las centrales que emplean coque de petróleo aportan el 0.84%, y las carboeléctricas tienen una mínima participación del 0.17%.

Con la reforma energética, la apertura del sector eléctrico permitió celebrar contratos con particulares para la generación de energía eléctrica, que ha sido fundamental para diversificar la matriz de generación de energía eléctrica. Otro factor importante es que los precios han disminuido significativamente en los últimos años, se han vuelto competitivos frente a las fuentes convencionales de generación de energía eléctrica

4.5. ESCENARIO LVF-2MWh

En el escenario LVF-2 MWh, debido al bajo crecimiento poblacional y bajo consumo per cápita, se puede apreciar que la generación de energía eléctrica decrece, pasando de 329 TWh en 2017 a 295 TWh en 2050 (Figura 29).

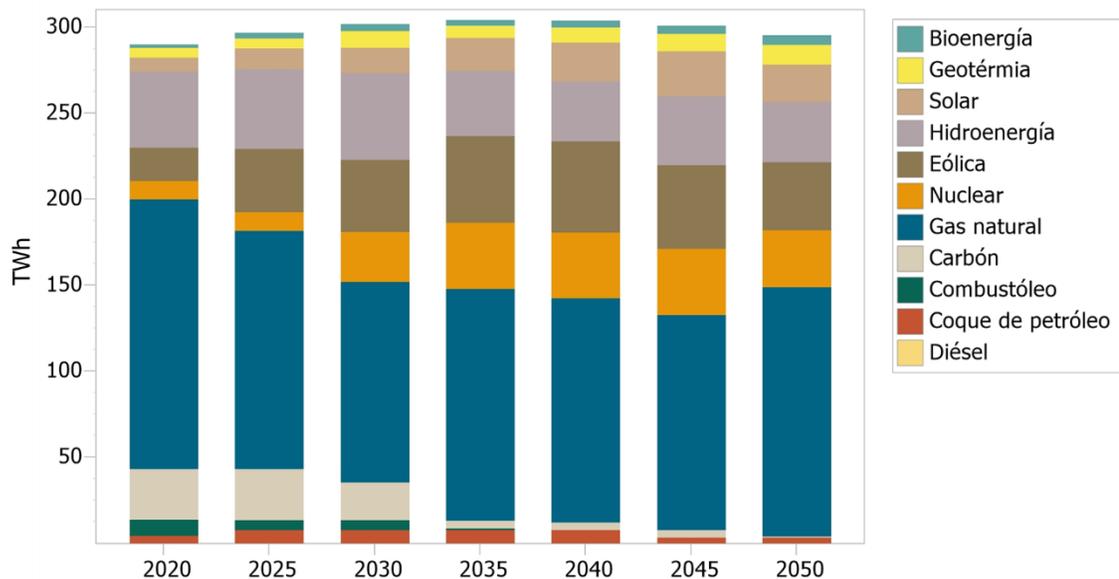


Figura 29. Escenario LVF - 2MWh.
Fuente: Elaboración propia.

A medida que crece la capacidad basada en energías renovables, la matriz de generación en México se vuelve cada vez más diversa y menos dependiente de los combustibles fósiles. La proporción de generación de electricidad basada en combustibles fósiles representa el 50.48% en 2050. La participación del gas natural sigue siendo elevada, contribuye con el 49.09% de la producción total, de manera opuesta, el coque de petróleo y el carbón aportan el 1.16% y 0.23% respectivamente.

Mientras que la participación del carbón y el petróleo caen, las energías limpias juegan un rol cada vez más importante en la matriz de generación de electricidad. En el escenario LVF-2MWh la producción de electricidad proveniente de fuentes de energía limpias es del 49.52% en 2050. La contribución de la energía eólica es de 13.44%, mientras que las hidroeléctricas aportan el 11.84%, las centrales nucleares el 11.15%, los parques solares el 7.34%, los campos geotérmicos el 3.96%, y bioenergía aporta el 1.78% para cubrir la demanda de energía eléctrica al año 2050.

4.6. ESCENARIO LVF-4MWh

Considerando las condiciones del escenario LVF-4MWh, el crecimiento será bajo, mientras que el consumo per cápita de electricidad es alto, lo que refleja dos tendencias que se contrarrestan. La producción de electricidad aumenta de 329 TWh en 2017 a 633 TWh en 2050 (Figura 30).

En este escenario la participación de combustibles fósiles para la generación de electricidad es de 50.31%, mientras que las fuentes de energía limpia aportan el 49.69% de la producción nacional.

Los ciclos combinados a base de gas natural dominan la matriz de generación con un 49.63%, de manera contraria, gracias al retiro de centrales convencionales y fomento a las energías limpias, la participación de coque de petróleo es de 0.54%, carbón es de 0.11%, y diésel 0.02%.

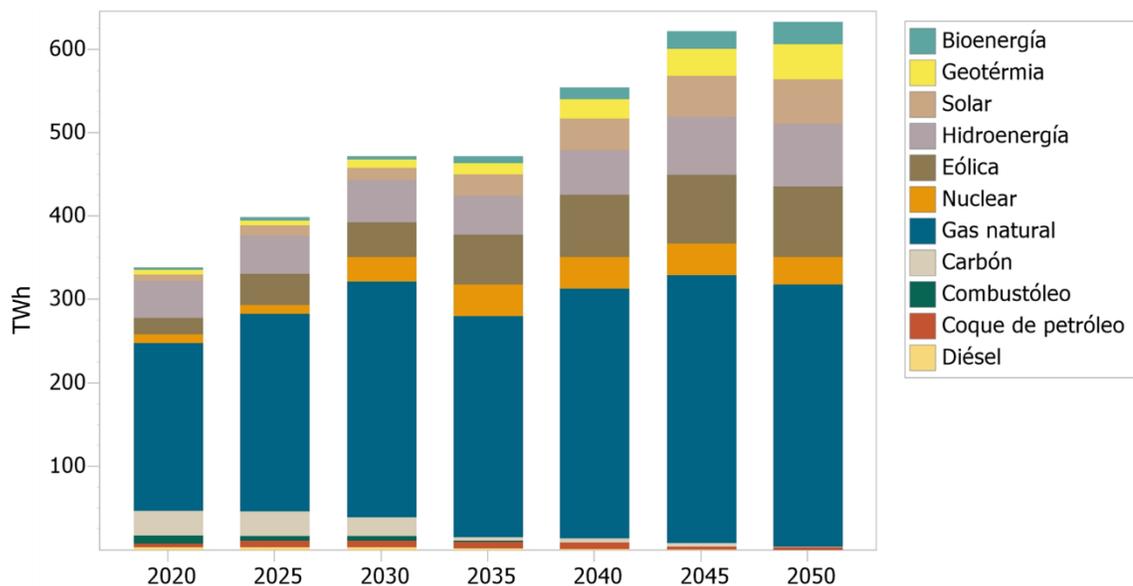


Figura 30. Escenario LVF-4MWh.
Fuente: Elaboración propia.

El rubro de tecnologías limpias, en el escenario LVF-4MWh contribuye con el 49.69% para la generación de electricidad. La energía proveniente de parques eólicos representa el 13.38%, las centrales hidroeléctricas aportan el 11.84%, las plantas fotovoltaicas el 8.48%, la energía geotérmica el 6.65%, las centrales nucleares el 5.21% y los biocombustibles el 4.14% para satisfacer la demanda al 2050.

4.7. ESCENARIO CVF-2MWh

En el escenario de crecimiento poblacional constante y bajo consumo se puede apreciar que la producción de electricidad estimada para 2050 será equivalente a 398 TWh. De esta forma, la matriz eléctrica contará con una participación en la generación del 50.49% de energías convencionales y 49.51% de energías limpias (Figura 31). En el escenario CVF-2MWh la participación del gas natural representa el 49.45%, el coque de petróleo el 0.86%, y el carbón el 0.17% de la generación total al 2050.

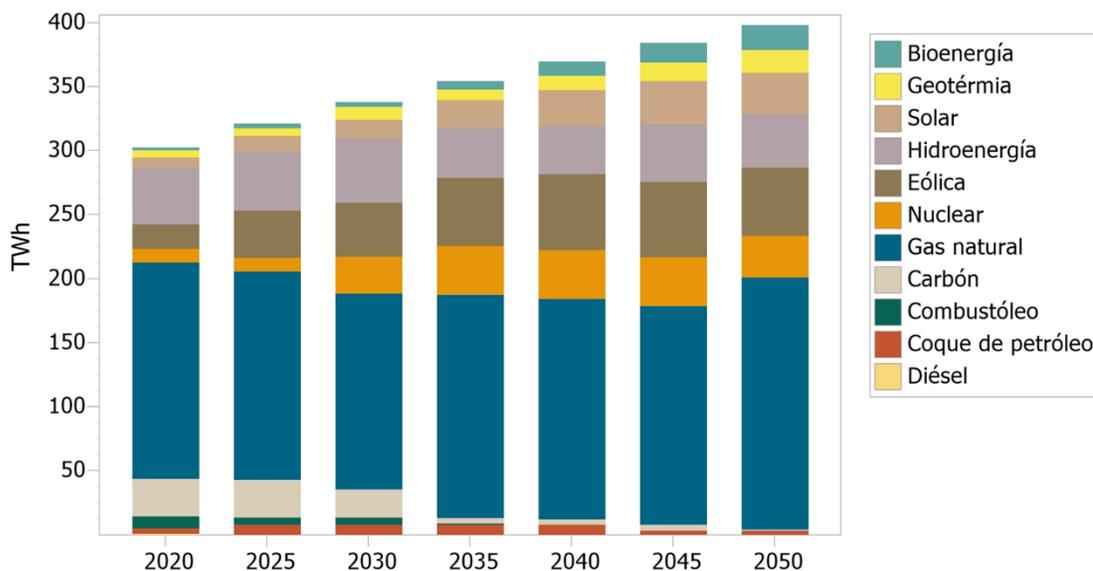


Figura 31. Escenario CVF - 2MWh.
Fuente: Elaboración propia.

Debido al cambio tendencial hacia un modelo de generación eléctrica más sustentable al 2050, la inversión en energías limpias es notorio. La tecnología con mayor participación es la eólica con un 13.36%, la hidroenergía tiene una aportación del 10.46%, la energía nuclear 8.28%, seguida de la solar 8.12%, geotérmica con 4.46%, y bioenergía 4.83%, para cubrir la demanda de energía eléctrica al año 2050.

4.8. ESCENARIO CVF-4MWh

En el escenario de crecimiento poblacional constante y alto consumo de electricidad per cápita, se puede apreciar que la producción de electricidad tiene una alta tasa de crecimiento, pasa de 329 TWh en 2017 a 688 TWh en 2050 (Figura 32).

En el escenario CVF-4MWh la participación del gas natural representa el 50.55%, el coque de petróleo el 0.50%, el carbón el 0.10% y el diésel 0.05% de la generación total al 2050. El potencial de los recursos renovales en México permite el rápido crecimiento de las energías limpias, la tecnología con mayor participación es la eólica con un 14.26%, la hidroenergía tiene una aportación del 10.89%, seguida de la solar 8.96%, geotérmica con 6.11%, la energía nuclear 4.79 y bioenergía 3.81%, para cubrir la demanda de energía eléctrica al año 2050.

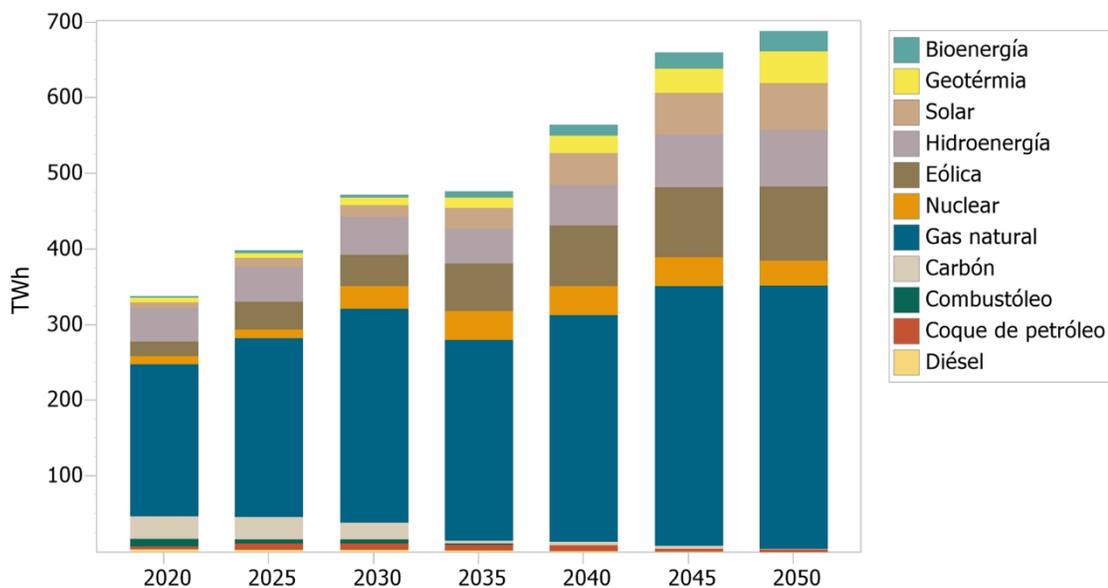


Figura 32. Escenario CVF - 4MWh.
Fuente: Elaboración propia.

La Agencia Internacional de Energía (IEA), prevé que la capacidad instalada para la generación de electricidad en México sea de 161 GW en 2040 (Figura 33). También hace una evaluación de la generación de electricidad, sus resultados muestran que para satisfacer la demanda será necesario producir 518 TWh en 2040 (Figura 34).

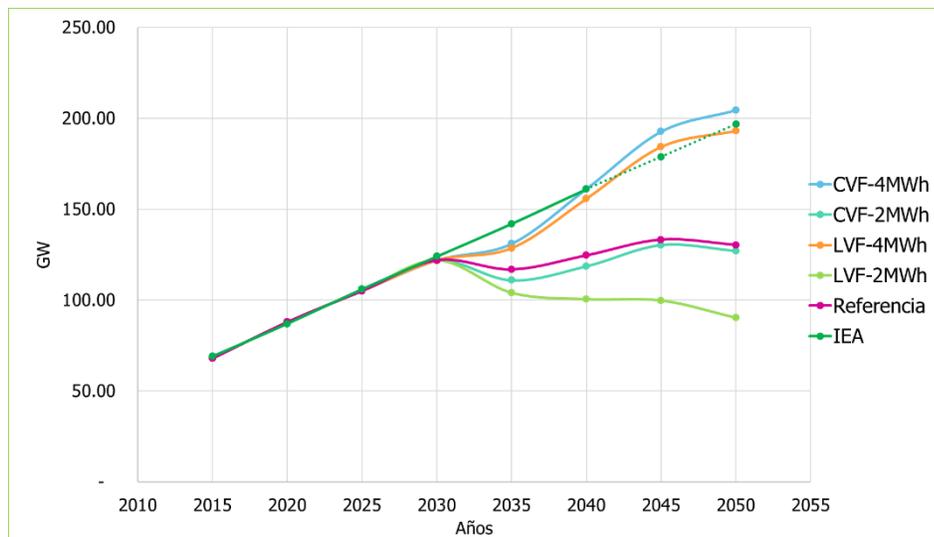


Figura 33. Proyecciones de capacidad instalada al año 2050.

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAPO, 2016), (IEA, 2016) y (SENERe, 2018).

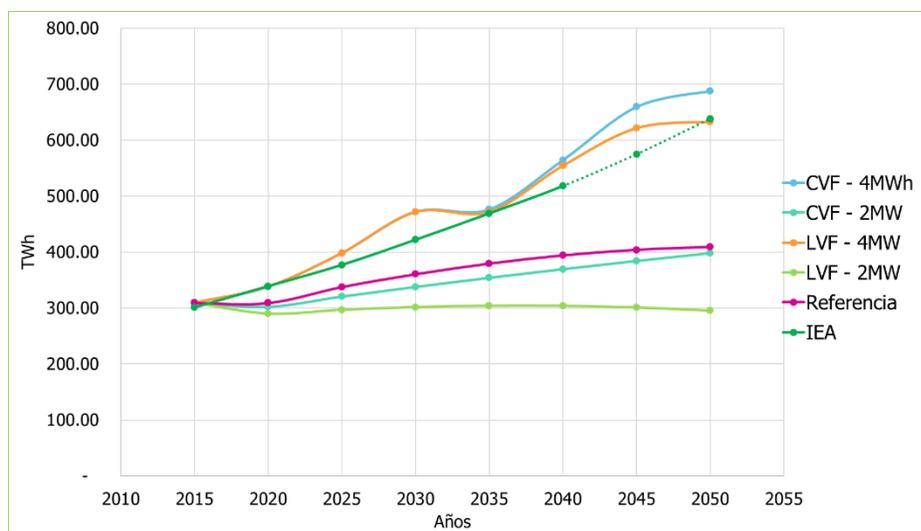


Figura 34. Proyecciones de generación de energía eléctrica al año 2050.

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAPO, 2016), (IEA, 2016) y (SENERe, 2018).

Al analizar los resultados del modelo SEN-50 y realizar una comparación con el modelo de la IEA, se aprecia que sus estimaciones se aproximan a los valores obtenidos en los escenarios con un consumo de electricidad per cápita alto de esta investigación.

En cuanto al análisis de emisiones, se tomó en cuenta la línea base del reporte anual del potencial de mitigación de GEI en el sector eléctrico (SENERh, 2018), un ejercicio de proyección de las emisiones futuras de GEI de México. Este escenario tendencial es una proyección razonable de las emisiones que se darían en ausencia de acciones de mitigación del cambio climático. Su objetivo es servir como una base para la identificación del potencial de reducción de emisiones a nivel nacional, para el diseño de iniciativas que permitan capturar dicho potencial de abatimiento y para la evaluación de las acciones emprendidas en este contexto.

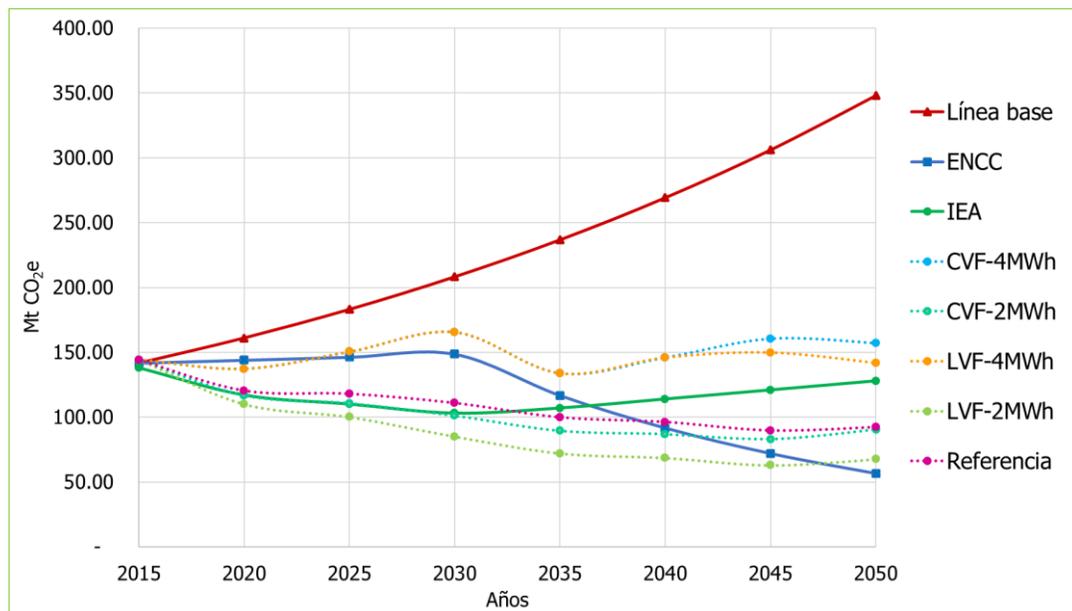


Figura 35. Mitigación de GEI en el SEN al 2050.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la ENCC, las acciones de mitigación buscan transformar la matriz eléctrica, aumentar la participación de tecnologías limpias y usar los recursos fósiles con mayor eficiencia. El escenario ENCC (Figura 35) refleja el cumplimiento de las metas de reducción de GEI del 30% al 2030 y 50% al 2050.

Es importante mencionar, que de acuerdo al modelo SEN-50 el escenario que más emisiones de GEI se logró mitigar fue el escenario LVF- 2MWh en cuya mitigación se logró reducir 280 Mt de CO₂e, seguido del CVF-2Wh con una disminución de 258 Mt de CO₂e, mientras que los escenarios de alto consumo (4MWh/per cápita) sólo lograron reducir 190 Mt de CO₂e con un crecimiento de la población constante y 206 Mt de CO₂e con un crecimiento de la población bajo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La planificación energética es una herramienta necesaria para explorar posibles escenarios alternativos que permitan cumplir objetivos nacionales e internacionales, tanto de inclusión de energías renovables como de reducción de emisiones de GEI.

El modelo propuesto define escenarios energéticos integrados por una matriz óptima de tecnologías para la generación de electricidad, que satisfaga la demanda de electricidad. En cada escenario de análisis, se logró estimar la demanda de energía eléctrica esperada para el año 2050, mediante el análisis del comportamiento del crecimiento poblacional como un indicador de la evolución del consumo de electricidad.

En los escenarios evaluados se observa que la tecnología limpia con mayor crecimiento es la eólica cuyos aportes fueron entre el 12.99% al 14.26% bajo las condiciones de los modelos poblaciones con consumos de 2 MWh per cápita y 4 MWh per cápita. La energía solar fotovoltaica y la eólica tienen un rápido crecimiento en las adiciones de capacidad durante el período, lo que ayuda a México a alcanzar sus objetivos a largo plazo para la generación de electricidad a partir de fuentes de energía limpia.

En cuanto a las tecnologías fósiles, los ciclos combinados con base gas natural son los que tienen una importante participación en los escenarios evaluados, su participación va desde 49.09% al 50.55%.

Los resultados indican que la participación de las energías limpias en la generación de electricidad satisface los objetivos propuestos en la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

5.2. RECOMENDACIONES

Se sugiere incluir tecnologías de captura y almacenamiento de carbono que contribuyan a la disminución de emisiones de GEI. Así mismo, se recomienda considerar el desarrollo tecnológico de las energías limpias para reducir sus costos y riesgos, convirtiéndolas en competitivas frente a la explotación de hidrocarburos y combustibles fósiles. Se recomienda llevar a cabo un análisis de ciclo de vida que considere las externalidades y los costos socioambientales asociados a las emisiones de GEI, con el objetivo de promover una correcta selección de fuentes energéticas.

Finalmente, se propone incluir nuevas tecnologías de producción de electricidad que coadyuven al cumplimiento de reducción de emisiones, al mismo tiempo que permitan diversificar la matriz energética mexicana.

REFERENCIAS

- Alemán, G., Casiano, V., Cárdenas, D., Díaz, R., Scarlat, N., Mahlkecht, J., Parra, R. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140-153.
- Babier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 3-65.
- Bloomberg New Energy Finance. (2018). *Emerging Markets Outlook 2018*.
Obtenido de <http://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2018-report-en.pdf>
- Castrejón, D. (2012). Reducción de emisiones de GEI en el sector eléctrico: ¿Renovables o combustibles fósiles y energía nuclear?. *Revista Digital Universitaria*, 13(10).
- CEPAL. (2018). *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. México: Publicaciones de las Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43612-informe-nacional-monitoreo-la-eficiencia-energetica-mexico-2018>
- CFE. (2015). *Costos y Parametros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico*. Comisión Federal de Electricidad, México.
- CONAPO. (2016). *Proyecciones de la población de México 2010-2050. Documento Metodológico*. Consejo Nacional de Población, México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/63977/Documento_Metodologico_Proyecciones_Mexico_2010_2050.pdf

- DOF. (1992). *Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica*. Diario Oficial de la Federación. Publicado el 23 de diciembre de 1992., HCU, México.
- DOF. (2008). *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. Diario Oficial de la Federación. Publicado el 01 de febrero de 2008., HCU, México.
- DOF. (2012). *Ley General de Cambio Climático*. Diario Oficial de la Federación, Publicado el 6 de junio de 2012. HCU, México. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- DOF. (2013). *Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía*. Diario Oficial de la Federación, Publicado el 20 de diciembre de 2013. HCU, México. Obtenido de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5327463&fecha=20/12/2013
- DOF. (2014). *Ley de la Industria Eléctrica*. Diario Oficial de la Federación, Publicado el 11 de agosto de 2014. HCU, México. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf
- DOF. (2015). *Ley de Transición Energética*. Diario Oficial de la Federación, Publicado el 24 de diciembre de 2015. HCU, México. Obtenido de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- ECF & WEC. (2014). *Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético*. European Climate Foundation, World Energy Council & Universidad de Cambridge. Obtenido de <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf>

- Elizondo, A., Pérez, V., Strapasson, A., Fernández, J., & Cruz, D. (2017). Mexico's low carbon futures: An integrated assessment for energy planning and climate change mitigation by 2050. *Futures*, 93, 14-26.
- European Union. (2014). *2013 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan). Technology Description*. Joint Research Centre & Institute for Energy and Transport. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Union. (2014). *ETRI Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050*. Joint Research Centre & Institute for Energy and Transport. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Gobierno de la República. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, Dirección General de Políticas para el Cambio Climático, Ciudad de México. Obtenido de http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf
- Gobierno de la República. (2014). *Compromisos de mitigación y adaptación de ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030*. Nueva York, Estados Unidos. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_es.pdf
- Heaps, C. G. (2016). *Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. [Software version: 2018.1.25]*. Somerville, MA, USA. : Stockholm Environment Institute. Obtenido de <https://www.energycommunity.org>

- Hernández, G., Romero, R., Rodríguez, A., Ponce, J., Cerezo, J., & Toledo, D. (2019). Energy Model for Long-Term Scenarios in Power Sector under Energy Transition Laws. *Processes*, 7(10).
- Howells, M., Rogner, H., Strachan, N., Heaps, C., Huntington, H., Kypreos, S., Roehrl, A. (2011). OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System. *Energy Policy*, 39, 5850-5870.
- IEA. (2016). *Mexico Energy Outlook*. International Energy Agency, París, Francia. Obtenido de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MexicoEnergyOutlook.pdf>
- IEA. (2018). *CO₂ emissions from fuel combustion 2018*. International Energy Agency. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-2019>
- INECC & SEMARNAT. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra, Suiza. Obtenido de https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IRENA. (2015). *Renewable Energy Prospects: Mexico, REmap 2030 analysis*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Obtenido de www.irena.org/remap

- IRENA. (2018). *Renewable Energy Statistics*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Islas , J. M., & Grande, G. K. (2013). Políticas públicas para impulsar las energías renovables en México. *Revista Mexicana de Física*, 59(2), 1-14.
- Islas , J., Manzini, F., & Martínez , M. (2004). CO₂ mitigation cost for new renewable energy capacity in the Mexican electricity sector using renewable energies. *Solar Energy*, 76, 499-507.
- Islas, J., Manzini, F., & Martínez, M. (2003). Cost-benefit analysis of energy scenarios for the Mexican power sector. *Energy*, 28(10), 979-992.
- Johnson, T. M. (2009). *México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono*. Washington DC, USA: Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/695641468050941688/pdf/524580PUB0SPAN1pment0Mexico1Spanish.pdf>
- Manzini, F., Islas, J., & Martínez, M. (2001). Reduction of greenhouse gases using renewable energies in Mexico 2025. *International Journal of Hydrogen Energy*, 26(2), 145-149.
- Mendivil, A., & Niño, G. (2016). *Una política energética sustentable: Un pendiente en México*. Fundación Friedrich Ebert en México., México. Obtenido de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/12548.pdf>
- ONU. (2015). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*. Naciones Unidas. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 .

- ONU. (2017). *World Population Prospect. The 2017 Revision*. Organización de las Naciones Unidas. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, New York. Obtenido de https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_Methodology.pdf
- Pérez, E., Fernández, F., Vilariño, D., Montaña, L. M., & Maldonado, L. A. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 597-613.
- Poder Ejecutivo Federal. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. Ciudad de México. Obtenido de <http://pnd.gob.mx/>
- REN21. (2018). *Global Status Report*. REN21 Secretariat, Paris. France.
- Rosas, J. A., Zenón, E., & Morillón, D. (2019). Potential energy saving in urban and rural households of Mexico with solar photovoltaic systems using geographical information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116(109412), 13.
- Sandoval, E. (2013). Proyección sobre energía eléctrica en México mediante la Identidad de Kaya. *Economía Informa*, 380, 41-53.
- Sarmiento, L., Burantdt, T., Löffler, K., & Oei, P. Y. (2019). Analyzing Scenarios for the Integration of Renewable Energy Sources in the Mexican Energy System - An Application of the Global Energy System Model (GENeSYS-MOD). *Energies*, 12(17), 3270.
- SENERa. (2017). *Balance Nacional de Energía 2017*. Secretaría de Energía, México. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>

- SENERb. (2018). *Prospectiva de Gas Natural 2018-2032*. Secretaría de Energía, México. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>
- SENERc. (2018). *Prospectiva de Petróleo crudo y Petrolíferos 2018-2032*. México. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>
- SENERd. (2018). *Prospectiva de Energías Renovables 2018-2032*. México. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>
- SENERe. (2018). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032*. Secretaría de Energía, México. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODESEN-2018-2032-definitiva.pdf>
- SENERf. (2018). *Prospectiva de Sector Eléctrico 2018-2032*. México. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>
- SENERg. (2017). *Reporte de avance de Energías Limpias*. Secretaría de Energía, México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/340121/Informe_Renovables_2017_cierre.pdf
- SENERh. (2018). *Reporte anual del potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico*. Secretaría de Energía , México. Obtenido de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/421217/Reporte_Anual_Pot._Mitig._GEI_Ene_FIN_Acc_ok.pdf

UNFCCC. (2015). *Acuerdo de París*. United Nations Framework Convention on Climate Change, París, Francia. Obtenido de https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf

Vidal, J., & Sheinbaum, C. (2018). A transition strategy from Fossil Fuels to Renewable Energy Sources in the Mexican Electricity System. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment System*, 6(1), 47-66.

Vidal, J., Østergaard, P. A., & Sheinbaum, C. (2015). Optimal energy mix for transitioning from fossil fuels to renewable energy sources—The case of the Mexican electricity system. *Applied Energy*, 150, 80-96.

WWF & ICM. (2017). *Generación eléctrica y pico de emisiones: Reflexiones sobre la planeación del sector y los compromisos climáticos de México*. World Wildlife Fund & Iniciativa Climática México, México. Obtenido de <https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/Estudio-pico-de-emisiones-2017.pdf>



APÉNDICE A

Apéndice A. Listado de Centrales de Generación

Tabla A 1. Centrales de generación de ciclo combinado, 2017.

CICLO COMBINADO						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Energía Azteca VIII	GTO	03-Occidental	AUT	131.10	960.09
2	Energía Azteca X_AUT	BC	08-Baja California	AUT	80.00	620.99
3	Energía Chihuahua	CHIH	05-Norte	AUT	50.00	77.71
4	Energía San Luis De La Paz	GTO	03-Occidental	AUT	220.00	1,821.84
5	Fuerza y Energía de Naco-Nogales	SON	04-Noroeste	AUT	50.00	316.65
6	Fuerza y Energía de Tuxpan_AUT	VER	02-Oriental	AUT	30.00	222.75
7	Iberdrola Energía Altamira	TAMS	06-Noreste	AUT	60.00	224.10
8	Iberdrola Energía del Golfo	TAMS	06-Noreste	AUT	80.00	117.40
9	Iberdrola Energía La Laguna	DGO	05-Norte	AUT	101.27	295.93
10	Iberdrola Energía Monterrey	NL	06-Noreste	AUT	742.20	4,416.17
11	Iberdrola Energía Monterrey, Dulces Nombres II	NL	06-Noreste	AUT	338.00	1,846.62
12	Iberdrola Energía Tamazunchale	SLP	06-Noreste	AUT	100.00	337.55
13	Ingredion México	QRO	03-Occidental	AUT	29.20	186.28
14	Magnelec	COAH	05-Norte	AUT	16.20	46.23
15	México Generadora de Energía	SON	04-Noroeste	AUT	470.00	3,467.07
16	Techgen_AUT	NL	06-Noreste	AUT	797.50	6,386.56
17	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Cangrejera	VER	02-Oriental	COG	163.50	536.90
18	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Morelos	VER	02-Oriental	COG	172.00	405.00
19	Procter & Gamble Manufactura	TLAX	02-Oriental	COG	59.80	355.37
20	AES Mérida III	YUC	07-Peninsular	EXP	15.00	-
21	Energía Azteca X_EXP	BC	08-Baja California	EXP	50.00	474.30
22	Energía de Baja California	BC	08-Baja California	EXP	337.05	1,408.66
23	Termoeléctrica de Mexicali	BC	08-Baja California	EXP	679.70	2,961.78
24	Altos Hornos de México	COAH	06-Noreste	GEN	260.30	1,079.22
25	Bio Pappel Scribe	QRO	03-Occidental	GEN	32.01	-
26	Braskem Idesa	VER	02-Oriental	GEN	175.60	906.40
27	Celulosa de Fibras Mexicanas	TLAX	02-Oriental	GEN	6.64	22.85
28	Central Anáhuac	TAMS	06-Noreste	GEN	49.40	28.43
29	Central Lomas de Real	TAMS	06-Noreste	GEN	49.40	19.52
30	Central Saltillo	COAH	06-Noreste	GEN	50.00	88.76
31	Central Valle Hermoso	TAMS	06-Noreste	GEN	49.90	30.89
32	Electricidad Águila de Altamira	TAMS	06-Noreste	GEN	49.40	56.59
33	Energía Azteca X_GEN	BC	08-Baja California	GEN	218.62	873.50
34	Fuerza y Energía de Norte Durango	DGO	05-Norte	GEN	131.50	207.74
35	Fuerza y Energía de Tuxpan_GEN	VER	02-Oriental	GEN	135.00	-
36	Iberdrola Energía Baja California	BC	08-Baja California	GEN	30.00	136.67
37	Mexichem Resinas Vinílicas	TAMS	06-Noreste	GEN	16.36	47.32
38	México Generadora de Energía	SON	04-Noroeste	GEN	60.00	-
39	Papelera Industrial Potosina	SLP	03-Occidental	GEN	6.53	33.29
40	Techgen_GEN	NL	06-Noreste	GEN	227.50	-
41	Tractebel Energía de Monterrey	NL	06-Noreste	GEN	284.02	2,013.74
42	Agua Prieta II	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	409.10	2,940.79
43	Centro	MOR	02-Oriental	GEN-CFE	656.00	358.03
44	Chihuahua II (El Encino)	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	619.40	3,274.29
45	Dos Bocas	VER	02-Oriental	GEN-CFE	452.00	1,124.18
46	El Sáuz	QRO	03-Occidental	GEN-CFE	591.00	4,343.01



47	Gómez Palacio	DGO	05-Norte	GEN-CFE	239.80	354.89
48	Hermosillo	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	227.02	1,282.72
49	Huinalá II	NL	06-Noreste	GEN-CFE	471.18	2,940.05
50	Huinalá_CC	NL	06-Noreste	GEN-CFE	377.66	843.40
51	Manzanillo (Gral. Manuel Álvarez Moreno)_CC	COL	03-Occidental	GEN-CFE	1,453.91	10,277.48
52	Poza Rica	VER	02-Oriental	GEN-CFE	231.80	1,011.31
53	Presidente Juárez_CC	BC	08-Baja California	GEN-CFE	743.00	3,183.19
54	Río Bravo (Emilio Portes Gil)	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	211.12	884.93
55	Samalayuca II	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	521.76	4,431.63
56	San Lorenzo Potencia	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	382.12	3,059.04
57	Tula (Francisco Pérez Ríos)_CC	HGO	01-Central	GEN-CFE	489.00	80.49
58	Valladolid (Felipe Carrillo Puerto)_CC	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	220.00	1,209.00
59	Valle de México_CC	MEX	01-Central	GEN-CFE	549.30	4,559.90
60	AES Mérida III; Mérida III	YUC	07-Peninsular	PIE	484.00	781.28
61	Central Anáhuac, Río Bravo II	TAMS	06-Noreste	PIE	495.00	3,528.48
62	Central Lomas de Real, Río Bravo III	TAMS	06-Noreste	PIE	495.00	2,592.78
63	Central Saltillo, Saltillo	COAH	06-Noreste	PIE	247.50	1,653.27
64	Central Valle Hermoso, Río Bravo IV	TAMS	06-Noreste	PIE	500.00	2,680.13
65	Compañía de Generación Valladolid, Valladolid III	YUC	07-Peninsular	PIE	525.00	2,085.49
66	Electricidad Aguila de Altamira, Altamira II	TAMS	06-Noreste	PIE	495.00	3,672.51
67	Electricidad Aguila de Tuxpan, Tuxpan II (Tres Estrellas)	VER	02-Oriental	PIE	495.00	3,168.86
68	Electricidad Sol, de Tuxpan, Tuxpan V	VER	02-Oriental	PIE	495.00	4,027.68
69	Energía Azteca VIII, El Sáuz - Bajío	GTO	03-Occidental	PIE	495.00	4,224.18
70	Energía Azteca X, Mexicali	BC	08-Baja California	PIE	489.00	3,693.35
71	Energía Campeche, Transalta Campeche	CAMP	07-Peninsular	PIE	252.40	241.16
72	Energía Chihuahua, Transalta Chihuahua	CHIH	05-Norte	PIE	259.00	2,083.53
73	Fuerza y Energía de Hermosillo	SON	04-Noroeste	PIE	250.00	1,868.90
74	Fuerza y Energía de Naco-Nogales, Naco Nogales	SON	04-Noroeste	PIE	258.00	2,100.37
75	Fuerza y Energía de Norte Durango, Norte Durango	DGO	05-Norte	PIE	450.00	3,749.04
76	Fuerza y Energía de Tuxpan, Tuxpan III y IV	VER	02-Oriental	PIE	983.00	7,885.88
77	Iberdrola Energía Altamira, Altamira III y IV	TAMS	06-Noreste	PIE	1,036.00	8,235.83
78	Iberdrola Energía Baja California	BC	08-Baja California	PIE	294.00	1,691.20
79	Iberdrola Energía del Golfo, Altamira V	TAMS	06-Noreste	PIE	1,121.00	7,305.13
80	Iberdrola Energía La Laguna, La Laguna II	DGO	05-Norte	PIE	498.00	3,791.16
81	Iberdrola Energía Monterrey, Monterrey III	NL	06-Noreste	PIE	449.00	3,396.99
82	Iberdrola Energía Tamazunchale, Tamazunchale	SLP	06-Noreste	PIE	1,135.00	8,321.72
83	KST Electric Power Company, Norte II	CHIH	05-Norte	PIE	433.00	3,277.12
Total					28,083.77	165,245.26

Tabla A 2. Centrales de generación termoeléctrica convencional, 2017.

TERMOELÉCTRICA CONVENCIONAL						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Agroindustrias del Balsas	MICH	01-Central	AUT	15.00	-
2	Akra Polyester	TAMS	06-Noreste	AUT	13.90	53.49
3	Arcelormittal Lázaro Cárdenas	MICH	01-Central	AUT	40.00	62.43
4	Bio Pappel Packaging, Planta de Papel Tizayuca	HGO	01-Central	AUT	35.19	149.45
5	Destiladora del Valle	VER	02-Oriental	AUT	1.50	5.80
6	Generadora Pondercel	CHIH	05-Norte	AUT	65.00	204.42
7	Mexicana De Cobre	SON	04-Noroeste	AUT	36.50	62.30
8	México Carbon Manufacturing	TAMS	06-Noreste	AUT	4.00	22.63
9	Papeles Ultra	MEX	01-Central	AUT	10.00	0.32
10	Ternium México, Planta Puebla	PUE	02-Oriental	AUT	5.60	26.25
11	Agroenergía	QRO	03-Occidental	COG	19.20	91.56
12	Compañía Cervecería De Coahuila_COG	COAH	06-Noreste	COG	16.00	85.62
13	Generadora Petrocel	TAMS	06-Noreste	COG	16.38	59.27
14	Grupo Celanese, Complejo Ocotlán	JAL	03-Occidental	COG	13.30	29.79
15	Industrias Derivadas del Etileno	VER	02-Oriental	COG	1.50	2.35



16	Innophos Fosfatados De México_COG	VER	02-Oriental	COG	6.25	-
17	Metalúrgica Met-Mex Peñoles	COAH	05-Norte	COG	7.00	31.29
18	Minera y Metalúrgica del Boleo_COG	BCS	10-Mulegé	COG	46.00	235.68
19	Pemex Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Poza Rica	VER	02-Oriental	COG	16.00	30.21
20	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Independencia	PUE	02-Oriental	COG	54.00	42.14
21	Pemex-Refinación, Ing. Antonio M. Amor	GTO	03-Occidental	COG	142.75	434.05
22	Pemex-Refinación, Refinería Francisco I. Madero	TAMS	06-Noreste	COG	129.00	204.05
23	Pemex-Refinación, Refinería General Lázaro Cárdenas	VER	02-Oriental	COG	64.00	154.50
24	Pemex-Refinación, Refinería General Lázaro Cárdenas, Proyecto Reconfiguración	VER	02-Oriental	COG	40.00	-
25	Pemex-Refinación, Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime	OAX	02-Oriental	COG	115.20	276.84
26	Pemex-Refinación, Refinería Ing. Hector Lara Sosa	NL	06-Noreste	COG	79.00	240.48
27	Pemex-Refinación, Refinería Miguel Hidalgo	HGO	01-Central	COG	133.70	316.87
28	Polioles	MEX	01-Central	COG	2.50	3.15
29	Zacapu Power	MICH	03-Occidental	COG	8.30	5.74
30	Bio Pappel Printing, Central II	VER	02-Oriental	GEN	11.60	-
31	Altamira	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	500.00	2,474.96
32	Francisco Villa	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	300.00	466.53
33	Guaymas II (Carlos Rodríguez Rivero)	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	484.00	1,438.15
34	Lerdo (Guadalupe Victoria)	DGO	05-Norte	GEN-CFE	320.00	1,190.67
35	Lerma (Campeche)	CAMP	07-Peninsular	GEN-CFE	112.50	464.34
36	Manzanillo (Gral. Manuel Álvarez Moreno)_TC	COL	03-Occidental	GEN-CFE	1,300.00	4,187.78
37	Mazatlán II (José Aceves Pozos)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	616.00	2,213.84
38	Mérida II	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	168.00	427.74
39	Presidente Juárez_TC	BC	08-Baja California	GEN-CFE	320.00	531.82
40	Puerto Libertad	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	632.00	3,103.72
41	Punta Prieta II_TC	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	112.50	461.03
42	Río Bravo (Emilio Portes Gil) U3	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	300.00	275.65
43	Salamanca	GTO	03-Occidental	GEN-CFE	550.00	1,549.73
44	Samalayuca	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	316.00	756.53
45	Topolobampo II (Juan de Dios Bátiz)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	320.00	1,893.86
46	Tula (Francisco Pérez Ríos)_TC	HGO	01-Central	GEN-CFE	1,605.60	9,794.43
47	Tuxpan (Adolfo López Mateos)	VER	02-Oriental	GEN-CFE	2,100.00	5,040.97
48	Valladolid (Felipe Carrillo Puerto)_TC	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	75.00	185.55
49	Valle de México_TC	MEX	01-Central	GEN-CFE	450.00	-
50	Villa de Reyes	SLP	03-Occidental	GEN-CFE	700.00	3,092.40
51	Arcelormittal Las Truchas	MICH	01-Central	U.P.C.	21.60	65.33
52	Bio Pappel Scribe_1	MICH	03-Occidental	U.P.C.	3.50	16.87
53	Bio Pappel Scribe_2	MICH	03-Occidental	U.P.C.	3.50	17.57
54	Cervecería Modelo	CDMX	01-Central	U.P.C.	19.00	63.38
55	Cervecería Modelo de Guadalajara	JAL	03-Occidental	U.P.C.	6.50	33.25
56	Compañía Cervecera El Trópico	OAX	02-Oriental	U.P.C.	25.00	68.91
57	Empaques Modernos San Pablo_TC	MEX	01-Central	U.P.C.	14.00	49.67
58	Industria del Alcalí	NL	06-Noreste	U.P.C.	1.50	0.81
59	Tereftalatos Mexicanos	VER	02-Oriental	U.P.C.	21.00	84.32
Total					12,545.57	42,780.50

Tabla A 3. Centrales de generación carboeléctricas, 2017.

CARBOELÉCTRICA						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Carbón II	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	1,400.00	7,075.38
2	Petalcalco (Plutarco Elías Calles)	GRO	01-Central	GEN-CFE	2,778.36	18,081.27
3	Río Escondido (José López Portillo)	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	1,200.00	5,400.45
Total					5,378.36	30,557.10



Tabla A 4. Centrales de generación turbogás, 2017.

TURBOGÁS						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Abbott Laboratories de México	CDMX	01-Central	AUT	6.30	11.69
2	Cargill de México	HGO	01-Central	AUT	7.52	42.42
3	Energía Costa Azul	BC	08-Baja California	AUT	181.60	43.35
4	Energía de Ramos	COAH	06-Noreste	AUT	200.00	112.53
5	Gresaise	TLAX	02-Oriental	AUT	5.20	31.70
6	Grimann, Planta Fase 1	MEX	01-Central	AUT	0.80	1.43
7	Grimann, Planta Fase 2	MEX	01-Central	AUT	0.80	2.75
8	Industrial Papelera Mexicana, Planta Uruapan	MICH	03-Occidental	AUT	8.32	32.38
9	Italaise	QRO	03-Occidental	AUT	5.20	32.25
10	Mission Hills	GTO	03-Occidental	AUT	7.52	40.27
11	Pemex-Exploración y Producción, Barco de Proceso, Yúum K'AK'Naab	CAMP	07-Peninsular	AUT	62.00	4.06
12	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-B	CAMP	07-Peninsular	AUT	23.30	28.78
13	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-C	CAMP	07-Peninsular	AUT	27.77	27.03
14	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-G	CAMP	07-Peninsular	AUT	10.50	12.17
15	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-L	CAMP	07-Peninsular	AUT	24.73	17.90
16	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-N	CAMP	07-Peninsular	AUT	5.66	-
17	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Ku-M	CAMP	07-Peninsular	AUT	14.85	9.21
18	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Ku-S	CAMP	07-Peninsular	AUT	14.30	9.48
19	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso y Transporte de Gas Atasta	CAMP	07-Peninsular	AUT	8.10	12.63
20	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Zaap-C	CAMP	07-Peninsular	AUT	7.20	0.37
21	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Abkatún Inyección de Agua	CAMP	07-Peninsular	AUT	35.75	12.83
22	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Abkatún-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	14.52	5.17
23	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Abkatún-D	CAMP	07-Peninsular	AUT	7.12	9.10
24	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Akal-J	CAMP	07-Peninsular	AUT	16.93	24.54
25	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Ku-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	10.19	11.30
26	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Ku-H	CAMP	07-Peninsular	AUT	14.85	15.63
27	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Nohoch-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	13.97	20.07
28	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Pol-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	9.17	10.33
29	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Rebombeo	CAMP	07-Peninsular	AUT	4.65	4.57
30	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Akal-C, Compresión Ca-Ac-2	CAMP	07-Peninsular	AUT	12.84	33.25
31	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma de Generación Eléctrica, Pg-Zaap-C	CAMP	07-Peninsular	AUT	100.36	214.68
32	Pemex-Exploración y Producción, Sistema de Bombeo Electrocentrífugo para el Campo Ek-Balam	CAMP	07-Peninsular	AUT	16.74	28.10
33	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Centro Procesador de Gas Área Coatzacoalcos	VER	02-Oriental	AUT	49.69	43.25
34	Pemex-Petroquímica, Terminal Refrigerada Pajaritos	VER	02-Oriental	AUT	14.00	36.60
35	Praxair México	TAB	02-Oriental	AUT	15.80	12.81
36	Representaciones e Investigaciones Médicas	JAL	03-Occidental	AUT	1.00	3.46
37	Tecnología En Nitrógeno	TAB	02-Oriental	AUT	6.75	-
38	Ternium México, Planta Monterrey	NL	06-Noreste	AUT	50.00	6.64
39	Urrea Herramientas Profesionales	JAL	03-Occidental	AUT	1.00	3.96
40	Vidrio Plano de México	NL	06-Noreste	AUT	11.40	-
41	Tijuana	BC	08-Baja California	CFE	345.00	399.34
42	Vizcaino	BCS	10-Mulegé	CFE	14.00	9.37
43	Almidones Mexicanos	JAL	03-Occidental	COG	12.00	45.91
44	Bio Pappel	DGO	05-Norte	COG	22.86	146.08
45	Bio Pappel Printing	VER	02-Oriental	COG	40.38	248.39
46	Compañía de Nitrógeno de Cantarell	CAMP	07-Peninsular	COG	362.60	2,134.63
47	CSI en Saltillo	COAH	06-Noreste	COG	2.60	11.87



48	El Palacio de Hierro, S. A. De C. V., Sucursal Monterrey	NL	06-Noreste	COG	1.20	2.60
49	Empaques Modernos San Pablo_TG	MEX	01-Central	COG	6.00	32.35
50	Enertek	TAMS	06-Noreste	COG	168.00	1,162.13
51	Fersinsa GB	COAH	06-Noreste	COG	6.00	18.20
52	GS Energía	MICH	03-Occidental	COG	0.95	2.58
53	Homecare de México	NL	06-Noreste	COG	1.00	0.18
54	Industrias Químicas Falcon de México	MOR	01-Central	COG	5.00	20.09
55	Innovation Packaging and Process	SLP	03-Occidental	COG	0.80	-
56	Láminas Acanaladas Infinita_COG	MEX	01-Central	COG	6.00	1.54
57	Micase	MEX	01-Central	COG	10.69	-
58	Pemex-Exploración y Producción, Planta Eléctrica Cárdenas	TAB	02-Oriental	COG	42.00	32.74
59	Pemex-Exploración y Producción, Terminal Marítima Dos Bocas	TAB	02-Oriental	COG	71.00	126.80
60	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Burgos	TAMS	06-Noreste	COG	19.50	42.68
61	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Cactus	CHIS	02-Oriental	COG	120.70	261.89
62	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Cd. Pemex	TAB	02-Oriental	COG	59.00	220.97
63	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador La Venta	TAB	02-Oriental	COG	22.25	57.87
64	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Cosoleacaque	VER	02-Oriental	COG	59.60	-
65	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Pajaritos	VER	02-Oriental	COG	58.50	51.55
66	Procter & Gamble Manufactura, Planta Talismán	CDMX	01-Central	COG	6.50	23.69
67	Proteínas Naturales	NL	06-Noreste	COG	6.00	37.68
68	Styrolution Mexicana	TAMS	06-Noreste	COG	10.60	74.62
69	Tractebel Energía de Pánuco	TAMS	06-Noreste	COG	60.73	366.32
70	Absormex CMPC Tissue	TAMS	06-Noreste	GEN	22.18	128.36
71	CE G. Sanborns Monterrey_GEN	NL	06-Noreste	GEN	1.00	-
72	CE G. Sanborns_GEN	CDMX	01-Central	GEN	1.00	-
73	Compañía Cervecería de Coahuila_GEN	COAH	06-Noreste	GEN	22.00	41.69
74	EVM Energía del Valle de México	MEX	01-Central	GEN	129.30	660.12
75	Láminas Acanaladas Infinita_GEN	MEX	01-Central	GEN	3.00	-
76	Lamosa Energía de Monterrey, S. A. de C. V.	NL	06-Noreste	GEN	7.90	21.91
77	Petstar	MEX	01-Central	GEN	2.00	-
78	Aragón	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32.00	185.93
79	Atenco	MEX	01-Central	GEN-CFE	32.00	164.34
80	Baja California Sur I UME-1	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26.00	-
81	Baja California Sur I UME-11	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	20.00	-
82	Cancún	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	102.00	46.24
83	Chankanaab	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	53.00	22.59
84	Chávez	DGO	05-Norte	GEN-CFE	28.00	2.17
85	Ciprés	BC	08-Baja California	GEN-CFE	27.43	4.94
86	Ciudad Constitución	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	33.22	8.36
87	Ciudad del Carmen	CAMP	07-Peninsular	GEN-CFE	47.00	12.00
88	Coapa	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32.00	169.68
89	Cogeneración Salamanca	GTO	03-Occidental	GEN-CFE	393.00	2,371.91
90	Coyotepec	MEX	01-Central	GEN-CFE	64.00	415.59
91	Cuautitlán	MEX	01-Central	GEN-CFE	32.00	236.91
92	Culiacán	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	30.00	1.78
93	Ecatepec	MEX	01-Central	GEN-CFE	32.00	158.23
94	Fundidora	NL	06-Noreste	GEN-CFE	12.00	18.56
95	Guerrero Negro II UME-14	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	12.50	-
96	Guerrero Negro II UME-8	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	10.00	3.76
97	Huinalá_TG	NL	06-Noreste	GEN-CFE	150.00	122.98
98	Industrial Caborca	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	42.00	1.45
99	Industrial Juárez	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	18.00	5.54
100	Iztapalapa	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32.00	174.49
101	La Laguna_TG	DGO	05-Norte	GEN-CFE	56.00	4.55
102	La Paz	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	43.00	39.18
103	Leona	NL	06-Noreste	GEN-CFE	24.00	53.20
104	Los Cabos	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	84.66	206.88
105	Los Cabos UME-10	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	19.00	-



106	Los Cabos UME-12	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	17.00	-
107	Los Cabos UME-2	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26.00	-
108	Los Cabos UME-3	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26.00	-
109	Los Cabos UME-4	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26.00	-
110	Los Cabos UME-9	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	19.00	-
111	Magdalena	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32.00	145.49
112	Mérida	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	30.00	27.69
113	Mexicali	BC	08-Baja California	GEN-CFE	62.00	13.56
114	Monclova	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	48.00	40.84
115	Nachi - Cocom	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	30.00	10.22
116	Nizuc	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	88.00	3.55
117	Nonoalco	CDMX	01-Central	GEN-CFE	106.00	0.25
118	Parque	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	59.00	15.32
119	Remedios	MEX	01-Central	GEN-CFE	32.00	177.25
120	Santa Cruz	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32.00	138.90
121	Santa Rosalía UME-15	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	12.50	5.92
122	Santa Rosalía UME-7	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	10.00	-
123	Tecnológico	NL	06-Noreste	GEN-CFE	26.00	5.28
124	Universidad	NL	06-Noreste	GEN-CFE	24.00	56.98
125	Valle de México UME-5	MEX	01-Central	GEN-CFE	18.00	67.06
126	Vallejo	MEX	01-Central	GEN-CFE	32.00	142.32
127	Victoria	MEX	01-Central	GEN-CFE	32.00	179.02
128	Villa de las Flores	MEX	01-Central	GEN-CFE	32.00	3.17
129	Xul - Ha	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	39.70	31.73
130	Xul - Ha UME-13	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	12.50	-
131	Xul - Ha UME-6	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	19.00	-
Total					5,135.73	12,848.65

Tabla A 5. Centrales de generación de combustión interna, 2017.

COMBUSTIÓN INTERNA						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Agnico Eagle México	CHIH	05-Norte	AUT	14.60	1.45
2	Agnico Eagle México, Proyecto Mascota	CHIH	05-Norte	AUT	3.65	0.77
3	Agnico Sonora	SON	04-Noroeste	AUT	6.15	19.34
4	Agribrands Purina México	GTO	03-Occidental	AUT	0.87	1.03
5	Agropecuaria La Norteña	CHIH	05-Norte	AUT	2.00	-
6	Alambres Procesados Industriales, Planta Belisario Domínguez 57	HGO	01-Central	AUT	1.50	-
7	Alfa Corporativo	NL	06-Noreste	AUT	1.98	0.02
8	Alimentos Kowi	SON	04-Noroeste	AUT	1.78	0.05
9	Auma	CHIH	05-Norte	AUT	2.06	-
10	Avomex Internacional	COAH	06-Noreste	AUT	4.00	0.09
11	Azinsa Aluminio	MEX	01-Central	AUT	1.00	0.02
12	Beneficencia Española de La Laguna	COAH	05-Norte	AUT	0.90	-
13	Bepensa Bebidas	YUC	07-Peninsular	AUT	2.00	0.15
14	Bimbo, Planta Baja California	BC	08-Baja California	AUT	2.55	-
15	Bimbo, Planta Marinela de Baja California	BC	08-Baja California	AUT	1.20	-
16	Bimbo, Planta Tijuana	BC	08-Baja California	AUT	1.60	-
17	Bridgestone de México	MOR	01-Central	AUT	2.00	0.29
18	Bticino de México	QRO	03-Occidental	AUT	1.00	-
19	C MT de La Laguna	DGO	05-Norte	AUT	1.60	0.36
20	Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Planta Puebla	PUE	02-Oriental	AUT	2.50	-
21	Coeur Mexicana	CHIH	05-Norte	AUT	21.90	6.31
22	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali	BC	08-Baja California	AUT	1.60	0.61
23	Compañía Minera Autlán, Unidad Molango	HGO	02-Oriental	AUT	10.88	24.97
24	Compañía Minera Dolores, Área de Campamento	CHIH	05-Norte	AUT	1.20	2.21
25	Compañía Minera Dolores, Área de Procesos	CHIH	05-Norte	AUT	10.80	31.68
26	Condumex, Planta Guadalajara	JAL	03-Occidental	AUT	3.00	0.81
27	Condumex, Planta Latincasa	SLP	03-Occidental	AUT	3.75	4.11
28	Continental Automotive Guadalajara México	JAL	03-Occidental	AUT	3.65	-



29	Continental Automotive Mexicana	GTO	03-Occidental	AUT	0.81	0.36
30	Continental Automotive Mexicana, Planta Cuautla	MOR	01-Central	AUT	2.59	0.48
31	Cordaflex	QRO	03-Occidental	AUT	2.50	-
32	Covalence Specialty Materials México	BC	08-Baja California	AUT	1.50	0.21
33	Dafmex	BC	08-Baja California	AUT	0.80	0.10
34	Desarrollos Mineros San Luis	GRO	02-Oriental	AUT	4.00	0.00
35	Don David Gold México_AUT	OAX	02-Oriental	AUT	3.64	3.22
36	Draexlmaier Components Automotive De México	SLP	03-Occidental	AUT	2.00	-
37	El Palacio De Hierro, Sucursal Guadalajara	JAL	03-Occidental	AUT	3.35	-
38	El Palacio De Hierro, Sucursal Interlomas	MEX	01-Central	AUT	3.00	0.19
39	El Palacio De Hierro, Sucursal Villahermosa	TAB	02-Oriental	AUT	2.40	-
40	Embotelladora del Caribe	QR	07-Peninsular	AUT	2.00	-
41	Empacadora Celaya	GTO	03-Occidental	AUT	2.00	0.51
42	Ensamblés Hyson	BC	08-Baja California	AUT	1.83	0.77
43	Fundilag Hierro	COAH	05-Norte	AUT	2.03	0.52
44	Ganadería Integral SK	NL	06-Noreste	AUT	2.98	0.11
45	Ganadería Integral Vizur	SIN	04-Noroeste	AUT	2.98	0.20
46	Generadora La Paz	SLP	03-Occidental	AUT	13.00	4.65
47	Geusa de Occidente	MICH	03-Occidental	AUT	2.72	2.89
48	Gollek Interamerica	NL	06-Noreste	AUT	2.80	-
49	Goplás	MEX	01-Central	AUT	1.43	10.76
50	Graftech México	NL	06-Noreste	AUT	14.00	1.32
51	Grupo Gamesa, Planta Celaya	GTO	03-Occidental	AUT	7.93	4.57
52	Grupo Posadas, Planta Fiesta Americana Cancún	QR	07-Peninsular	AUT	0.77	-
53	Grupo Telvista	BC	08-Baja California	AUT	1.60	0.14
54	Harinera La Espiga	CDMX	01-Central	AUT	2.00	9.02
55	Hersmex	NL	06-Noreste	AUT	4.01	27.43
56	Hierro Sonora	SON	04-Noroeste	AUT	3.28	6.60
57	Hotel Condesa del Mar	GRO	02-Oriental	AUT	0.81	-
58	Hotel Gran Caribe Real	QR	07-Peninsular	AUT	1.35	-
59	Hotelería Del Sudeste, Planta Fiesta Americana Mérida	YUC	07-Peninsular	AUT	1.51	-
60	Hoteles y Villas Posadas, Planta Fiesta Americana Grand Los Cabos	BCS	09-Baja California Sur	AUT	2.09	-
61	Impulsora Mexicana de Energía	NL	06-Noreste	AUT	24.00	-
62	Inmobiliaria Puerta Maya	TAB	02-Oriental	AUT	1.50	5.06
63	Innophos Fosfatados de México	VER	02-Oriental	AUT	15.70	90.04
64	Inversiones Mallorca	QR	07-Peninsular	AUT	2.93	1.02
65	Inversiones Palma	QR	07-Peninsular	AUT	3.00	0.64
66	Jacktar	QR	07-Peninsular	AUT	2.70	3.66
67	Kellogg de México	QRO	03-Occidental	AUT	6.17	3.94
68	Kraft Foods de México	PUE	02-Oriental	AUT	1.02	-
69	La Torre del Vigía	MEX	01-Central	AUT	3.75	0.68
70	Laboratorios Pisa	JAL	03-Occidental	AUT	9.83	-
71	Laboratorios Pisa, Planta Tlajomulco	JAL	03-Occidental	AUT	5.48	0.03
72	Laboratorios Sophia	JAL	03-Occidental	AUT	2.06	0.88
73	Lapropa El Águila	GTO	03-Occidental	AUT	1.50	0.56
74	Latinoamericana de Vidrio	MEX	01-Central	AUT	6.00	-
75	Loma Textil	JAL	03-Occidental	AUT	2.72	-
76	Mabe México, Planta Saltillo	COAH	06-Noreste	AUT	8.52	3.80
77	Mabe Sanyo Compressors	SLP	03-Occidental	AUT	3.42	0.72
78	Manantiales La Asunción	PUE	02-Oriental	AUT	2.00	-
79	Maquilas Teta Kawi	SON	04-Noroeste	AUT	1.11	0.15
80	Marindustrias	COL	03-Occidental	AUT	2.00	0.62
81	Mega Empack, Planta II	YUC	07-Peninsular	AUT	2.00	0.29
82	Minas de la Alta Pimería	CHIH	05-Norte	AUT	9.13	0.00
83	Minas de Oro Nacional	SON	04-Noroeste	AUT	18.65	46.05
84	Minera Bismark	CHIH	05-Norte	AUT	3.20	0.00
85	Minera Real de Ángeles, Unidad El Concheño	CHIH	05-Norte	AUT	24.00	4.45
86	Minera Roble	DGO	05-Norte	AUT	1.50	-
87	Minera y Metalúrgica del Boleo_AUT	BCS	10-Mulegé	AUT	30.85	27.28
88	Molymex	SON	04-Noroeste	AUT	2.00	0.11
89	Nemak	NL	06-Noreste	AUT	7.00	-
90	Nestlé México_MEX	MEX	01-Central	AUT	2.45	-



91	Nestlé México_QRO	QRO	03-Occidental	AUT	1.83	-
92	Novatec Pagani	GTO	03-Occidental	AUT	2.00	-
93	Nusantara de México, Mina Santa Elena	SON	04-Noroeste	AUT	12.10	46.51
94	Nutricarsa	YUC	07-Peninsular	AUT	1.06	3.03
95	Omya México	QRO	03-Occidental	AUT	6.00	0.03
96	Panasonic de México	MEX	01-Central	AUT	3.20	0.00
97	Parque de Tecnología Electrónica	JAL	03-Occidental	AUT	7.00	57.74
98	Pemex-Exploración y Producción, Centro Operativo Cayo Arcas	CAMP	07-Peninsular	AUT	5.50	1.38
99	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Akal-C Inyección	CAMP	07-Peninsular	AUT	1.05	-
100	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Eco-1	CAMP	07-Peninsular	AUT	0.81	0.81
101	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Habitacional Litoral Tabasco Ha-Lt-01	TAB	07-Peninsular	AUT	4.50	2.41
102	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Marina Complejo Ixtoc-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	0.83	2.01
103	Plastibolsa	CDMX	01-Central	AUT	1.60	0.22
104	Plásticos Irisagua	JAL	03-Occidental	AUT	3.65	1.38
105	Plásticos y Materias Primas	JAL	03-Occidental	AUT	4.50	1.83
106	Polímeros y Derivados, Planta El Carmen	GTO	03-Occidental	AUT	2.00	3.48
107	Pollo de Querétaro	QRO	03-Occidental	AUT	1.51	0.03
108	Posadas de Latinoamérica, Planta Fiesta Americana Grand Agua	QR	07-Peninsular	AUT	0.81	-
109	Posco México	TAMS	06-Noreste	AUT	21.00	77.24
110	Printpack Packaging de México	QRO	03-Occidental	AUT	2.00	0.16
111	Productos Farmacéuticos, Planta Aguascalientes	AGS	03-Occidental	AUT	4.00	0.12
112	Productos Urólogos de México	BC	08-Baja California	AUT	3.00	-
113	Promotores Inmobiliarios El Caracol	QR	07-Peninsular	AUT	0.65	0.01
114	Proteína Animal	JAL	03-Occidental	AUT	4.46	0.63
115	Qualtia Alimentos Operaciones	MEX	01-Central	AUT	5.33	21.80
116	Residuos Industriales Multiquim	NL	06-Noreste	AUT	1.56	0.62
117	Rivera Mayan	QR	07-Peninsular	AUT	4.00	0.67
118	Royal Porto	QR	07-Peninsular	AUT	1.00	-
119	Sabritas	SON	04-Noroeste	AUT	3.00	0.14
120	Sabritas, Planta Orizaba	VER	02-Oriental	AUT	2.98	-
121	Saint Gobain Vetrotex América	TLAX	02-Oriental	AUT	3.50	0.07
122	Sales del Istmo_1	VER	02-Oriental	AUT	0.75	0.03
123	Sales del Istmo_2	VER	02-Oriental	AUT	3.00	-
124	Sánchez y Martín	JAL	03-Occidental	AUT	1.83	-
125	Sasa del Pacífico	GRO	02-Oriental	AUT	1.35	0.93
126	Schering Plough	CDMX	01-Central	AUT	6.10	6.05
127	Secretaría de Seguridad Pública, Planta Colonia Penal Federal	NAY	03-Occidental	AUT	3.05	10.11
128	Sekisui S-Lec México	MOR	01-Central	AUT	0.76	-
129	Sílices de Veracruz	VER	02-Oriental	AUT	7.30	0.72
130	Sistema de Agua y Saneamiento Metropolitano de Veracruz, Boca del Río y Medellín	VER	02-Oriental	AUT	2.80	0.33
131	Solvay & CPC Barium Strontium Monterrey	NL	06-Noreste	AUT	2.00	0.03
132	Sony Nuevo Laredo	TAMS	06-Noreste	AUT	2.06	17.75
133	Sulzer Pumps México	MEX	01-Central	AUT	6.00	0.02
134	Tablex Miller	SON	04-Noroeste	AUT	1.26	0.10
135	TCP Energy	MEX	01-Central	AUT	158.15	10.39
136	Tecnologías para el Cuidado Ambiental	SLP	03-Occidental	AUT	1.73	2.00
137	Teléfonos de México, Central Cuautitlán de Romero Rubio	MEX	01-Central	AUT	1.25	-
138	Teléfonos de México, Central Aragón	CDMX	01-Central	AUT	0.60	-
139	Teléfonos de México, Central Atzacolco	CDMX	01-Central	AUT	0.73	-
140	Teléfonos de México, Central Azteca Metro	MEX	01-Central	AUT	0.60	-
141	Teléfonos de México, Central Aztecas	GTO	03-Occidental	AUT	1.28	-
142	Teléfonos de México, Central Bandera	JAL	03-Occidental	AUT	0.90	-
143	Teléfonos de México, Central Bosques Del Lago	MEX	01-Central	AUT	0.75	-
144	Teléfonos de México, Central C.T. Mixcoac	CDMX	01-Central	AUT	0.77	-
145	Teléfonos de México, Central Carrasco	CDMX	01-Central	AUT	0.90	-



146	Teléfonos de México, Central Chamizal	MEX	01-Central	AUT	0.60	-
147	Teléfonos de México, Central Chapalita	JAL	03-Occidental	AUT	0.90	-
148	Teléfonos de México, Central Coatzacoalcos	VER	02-Oriental	AUT	0.60	-
149	Teléfonos de México, Central Colima	COL	03-Occidental	AUT	0.60	-
150	Teléfonos de México, Central Copérnico	CHIH	05-Norte	AUT	1.00	-
151	Teléfonos de México, Central Corregidora	GTO	03-Occidental	AUT	0.60	-
152	Teléfonos de México, Central Culhuacán	CDMX	01-Central	AUT	2.40	-
153	Teléfonos de México, Central Cultura	NAY	03-Occidental	AUT	0.80	-
154	Teléfonos de México, Central Ejército de Oriente	CDMX	01-Central	AUT	0.60	-
155	Teléfonos de México, Central Estrella	CDMX	01-Central	AUT	2.33	-
156	Teléfonos de México, Central Fuentes	COAH	05-Norte	AUT	0.95	-
157	Teléfonos de México, Central Fuertes	PUE	02-Oriental	AUT	0.60	-
158	Teléfonos de México, Central Guadalupe Metropolitana	CDMX	01-Central	AUT	0.60	-
159	Teléfonos de México, Central Hidalgo II	GRO	02-Oriental	AUT	0.77	-
160	Teléfonos de México, Central La Paz	PUE	02-Oriental	AUT	0.65	-
161	Teléfonos de México, Central Lerdo Tops	VER	02-Oriental	AUT	0.60	-
162	Teléfonos de México, Central Los Tollocan	MEX	01-Central	AUT	0.60	-
163	Teléfonos de México, Central Malinche	CDMX	01-Central	AUT	0.75	-
164	Teléfonos de México, Central Mirador	MOR	01-Central	AUT	0.65	-
165	Teléfonos de México, Central Montejo	YUC	07-Peninsular	AUT	0.60	-
166	Teléfonos de México, Central Paseo	TAB	02-Oriental	AUT	0.60	-
167	Teléfonos de México, Central Pedro Moreno	GTO	03-Occidental	AUT	0.70	-
168	Teléfonos de México, Central Petrolera	VER	02-Oriental	AUT	0.80	-
169	Teléfonos de México, Central Plaza Mérida	YUC	07-Peninsular	AUT	1.25	-
170	Teléfonos de México, Central Popocatépetl I	CDMX	01-Central	AUT	1.80	-
171	Teléfonos de México, Central Popotla	CDMX	01-Central	AUT	0.75	-
172	Teléfonos de México, Central Revolución	HGO	01-Central	AUT	0.60	-
173	Teléfonos de México, Central Roma I	CDMX	01-Central	AUT	3.23	-
174	Teléfonos de México, Central San Jerónimo	CDMX	01-Central	AUT	0.60	-
175	Teléfonos de México, Central Santa Fé	NL	06-Noreste	AUT	0.80	-
176	Teléfonos de México, Central Satélite	MEX	01-Central	AUT	0.60	-
177	Teléfonos de México, Central Tlaquepaque	JAL	03-Occidental	AUT	1.65	-
178	Teléfonos de México, Central Tuxtla Gutiérrez	CHIS	02-Oriental	AUT	0.90	-
179	Teléfonos de México, Central Vallarta	JAL	03-Occidental	AUT	1.25	-
180	Teléfonos de México, Central Vallejo	CDMX	01-Central	AUT	2.20	-
181	Teléfonos de México, Central Yáñez	SON	04-Noroeste	AUT	0.90	0.02
182	Teléfonos de México, Central Zaragoza	CDMX	01-Central	AUT	1.25	-
183	Teléfonos de México, Centro Administrativo Cuautitlán Izcalli	MEX	01-Central	AUT	0.75	-
184	Teléfonos de México, Centro Administrativo Lada	CDMX	01-Central	AUT	1.25	-
185	Teléfonos de México, Centro Administrativo Nextengo	CDMX	01-Central	AUT	4.85	-
186	Teléfonos de México, Centro Administrativo San Juan	CDMX	01-Central	AUT	6.25	-
187	Teléfonos de México, Centro Administrativo Verónica	CDMX	01-Central	AUT	2.48	-
188	Teléfonos de México, Centro de Trabajo Lindavista	CDMX	01-Central	AUT	1.20	-
189	Teléfonos de México, Centro Telefónico Puebla	PUE	02-Oriental	AUT	2.20	-
190	Teléfonos del Noroeste, Central Árbol III	BC	08-Baja California	AUT	1.55	0.09
191	Teléfonos del Noroeste, Central Lomas	BC	08-Baja California	AUT	0.75	0.06
192	Teléfonos del Noroeste, Central Principal	BC	08-Baja California	AUT	0.60	-
193	Ternium México, Planta Apm	NL	06-Noreste	AUT	4.50	-
194	The Royal Cancún	QR	07-Peninsular	AUT	2.00	-
195	Valeo Térmico	SLP	03-Occidental	AUT	4.00	-
196	Vidrio Formas	MEX	01-Central	AUT	2.52	-
197	Yoggo de México	SLP	03-Occidental	AUT	1.00	-
198	Los Cabos UME-17 y 21	BCS	09-Baja California Sur	CFE	4.10	-
199	Santa Rosalía UME-19 y 20	BCS	10-Mulegé	CFE	3.20	-
200	Becton Dickinson de México	MEX	01-Central	COG	6.54	24.33
201	Cartones Ponderosa	QRO	03-Occidental	COG	19.99	105.15
202	Clarum Energy	DGO	05-Norte	COG	2.56	6.19
203	Cobielec	PUE	02-Oriental	COG	2.80	6.84
204	Energía Bidarena	MEX	01-Central	COG	6.15	23.30
205	Eurocopoter de México, Planta Querétaro	QRO	03-Occidental	COG	2.70	1.98
206	Industrias Ferroplásticas, S. A. De C. V.	QRO	03-Occidental	COG	1.30	0.01
207	Productora Nacional de Papel	SLP	03-Occidental	COG	17.09	75.15



208	Prup	HGO	01-Central	COG	5.22	31.77
209	Sigma Alimentos Centro, Planta Atitalaquia	HGO	01-Central	COG	3.18	6.74
210	Central Generadora Eléctrica Huinalá	NL	06-Noreste	EXP	120.15	773.83
211	Atco-Ranman Energía SLP	SLP	03-Occidental	GEN	41.36	10.18
212	Axtel	QRO	03-Occidental	GEN	5.31	2.14
213	B-Energy Industries	CHIH	05-Norte	GEN	8.00	50.90
214	Biotek Power	GTO	03-Occidental	GEN	5.33	16.05
215	Caterpillar México	NL	06-Noreste	GEN	5.88	-
216	Caterpillar Torreón	COAH	05-Norte	GEN	5.88	-
217	CE G. Sanborns, Central Coacalco	MEX	01-Central	GEN	1.00	-
218	Central España	CDMX	01-Central	GEN	2.61	-
219	Central Generadora Eléctrica Huinalá	NL	06-Noreste	GEN	22.50	-
220	Central Irapuato	GTO	03-Occidental	GEN	3.92	-
221	Central Reforma	CDMX	01-Central	GEN	2.61	-
222	Cuprum	MEX	01-Central	GEN	1.97	-
223	Don David Gold México	OAX	02-Oriental	GEN	6.56	30.98
224	Fabricaciones Especializadas	DGO	05-Norte	GEN	1.00	-
225	Fermicaise	CDMX	01-Central	GEN	15.84	28.62
226	Givaudan de México	QRO	03-Occidental	GEN	2.66	11.36
227	Granjas Carroll de México, Central Perote	VER	02-Oriental	GEN	7.48	0.00
228	Industrial Papelera San Luis	SLP	03-Occidental	GEN	1.98	-
229	La Encantada Procesadora de Minerales	COAH	05-Norte	GEN	13.20	6.67
230	Laminados de Barro	COAH	06-Noreste	GEN	1.99	6.27
231	Metaloides	PUE	02-Oriental	GEN	21.88	59.11
232	Multiservicios 2001	GTO	03-Occidental	GEN	1.17	-
233	Parras Cone de México	COAH	05-Norte	GEN	7.96	47.89
234	Pasteurizadora Maulec	PUE	02-Oriental	GEN	1.38	6.25
235	Pemex-Exploración y Producción, Central Centro de Proceso Litoral-A	TAB	02-Oriental	GEN	37.86	25.62
236	Quimi-Kao	JAL	03-Occidental	GEN	1.10	-
237	Refractarios Básicos	COAH	06-Noreste	GEN	4.91	27.26
238	Ronal San Luis	SLP	03-Occidental	GEN	5.94	11.51
239	Sabormex	PUE	02-Oriental	GEN	3.00	3.53
240	Tizayuca Textil Vuva	HGO	01-Central	GEN	1.88	8.03
241	Baja California Sur I	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	209.77	1,259.52
242	Guerrero Negro II (Vizcaíno)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	22.44	69.78
243	Holbox	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	3.20	13.12
244	San Carlos (Agustín Olachea A.)	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	104.13	576.35
245	Santa Rosalía	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	7.15	13.97
246	Santa Rosalía UME-16 y 18	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	5.00	-
247	Compañía Occidental Mexicana	BCS	09-Baja California Sur	U.P.C.	8.75	8.53
248	Exportadora de Sal, Planta Guerrero Negro e Isla de Cedros	BCS	10-Mulegé	U.P.C.	22.05	27.49
Total					1,634.46	4,005.66

Tabla A 6. Centrales de generación lecho fluidizado, 2017.

LECHO FLUIDIZADO						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Termoeléctrica del Golfo	SLP	06-Noreste	AUT	290.00	2,226.52
2	Termoeléctrica Peñoles	SLP	06-Noreste	AUT	290.00	2,102.04
Total					580.00	4,328.57



Tabla A 7. Centrales de generación hidroeléctrica, 2017.

HIDROELÉCTRICAS						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Planta Orizaba	VER	02-Oriental	AUT	10.00	14.01
2	Compañía De Energía Mexicana, Planta Atexcaco	PUE	02-Oriental	AUT	36.00	240.14
3	Compañía Eléctrica Carolina	GTO	03-Occidental	AUT	2.49	0.71
4	Electricidad del Golfo	VER	02-Oriental	AUT	35.00	104.41
5	Energía EP	PUE	02-Oriental	AUT	0.41	1.59
6	Generadora Eléctrica San Rafael	NAY	03-Occidental	AUT	28.80	100.27
7	Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo	MICH	03-Occidental	AUT	4.05	17.63
8	Hidroeléctrica Arco Iris	JAL	03-Occidental	AUT	8.40	37.74
9	Hidroeléctrica Cajón de Peña	JAL	03-Occidental	AUT	1.90	5.69
10	Hidroelectricidad del Pacífico	JAL	03-Occidental	AUT	9.15	28.87
11	Hidrorizaba	VER	02-Oriental	AUT	1.60	7.13
12	Hidrorizaba II	VER	02-Oriental	AUT	4.44	13.38
13	Ingenio Tamazula, Planta Santa Cruz	JAL	03-Occidental	AUT	0.64	1.13
14	Mexicana de Hidroelectricidad Mexhidro	GRO	02-Oriental	AUT	30.00	72.07
15	Papelera Veracruzana	VER	02-Oriental	AUT	1.26	6.00
16	Primero Empresa Minera	DGO	05-Norte	AUT	19.73	36.24
17	Procesamiento Energético Mexicano	VER	02-Oriental	AUT	11.30	51.57
18	Proveedora de Electricidad de Occidente	JAL	03-Occidental	AUT	19.00	43.69
19	Zagis	VER	02-Oriental	AUT	2.16	-
20	Generadora Fénix, Alameda	MEX	01-Central	GEN	6.99	33.12
21	Generadora Fénix, Lerma (Tepuxtepec)	MICH	01-Central	GEN	70.60	246.61
22	Generadora Fénix, Necaxa	PUE	01-Central	GEN	109.00	361.06
23	Generadora Fénix, Patla	PUE	01-Central	GEN	45.00	155.20
24	Generadora Fénix, Tepexic	PUE	01-Central	GEN	45.00	167.92
25	Agua Prieta (Valentín Gómez Farías)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	240.00	217.97
26	Agumilpa Solidaridad	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	960.00	1,543.45
27	Angostura (Belisario Domínguez)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	900.00	1,795.48
28	Bacurato	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	92.00	289.67
29	Bartolinas	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	0.75	1.59
30	Bombaná	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	5.24	21.72
31	Boquilla	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	25.00	101.59
32	Botello	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	18.00	78.34
33	Caracol (Carlos Ramírez Ulloa)	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	600.00	1,610.64
34	Chicoasén (Manuel Moreno Torres)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	2,400.00	4,614.58
35	Chilapan	VER	02-Oriental	GEN-CFE	26.00	120.96
36	Cóbano	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	60.00	265.05
37	Colimilla	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	51.20	71.80
38	Colina	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	3.00	9.02
39	Colotlipa	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	8.00	35.48
40	Comedero (Raúl J. Marsal)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	100.00	343.89
41	Cupatitzio	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	80.00	449.80
42	El Cajón (Leonardo Rodríguez A.)	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	750.00	873.42
43	El Fuerte (27 de Septiembre)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	59.40	355.11
44	El Novillo (Plutarco Elías Calles)	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	135.00	406.77
45	El Retiro (José Cecilio del Valle)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	21.00	97.22
46	El Salto (Camilo Arriaga)	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	18.00	90.35
47	Electroquímica	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	1.44	5.78
48	Encanto	VER	02-Oriental	GEN-CFE	10.00	64.43
49	Falcón	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	31.50	71.85
50	Huites (Luis Donaldo Colosio)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	422.00	1,062.10
51	Humaya	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	90.00	315.37
52	Infiernillo	MICH	01-Central	GEN-CFE	1,200.00	3,409.40
53	Intermedia (Luis Marcial Rojas)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	5.32	10.97
54	Itzicuaró	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	0.62	3.52
55	Ixtaczoquitlán	VER	02-Oriental	GEN-CFE	1.60	12.87
56	Jumatán	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	2.18	11.27
57	La Amistad	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	66.00	148.28
58	La Venta (Ambrosio Figueroa)	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	30.00	85.57



59	La Yesca (Alfredo Elias Ayub)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	750.00	853.09
60	Malpaso	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	1,080.00	2,934.94
61	Mazatepec	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	220.00	747.69
62	Micos	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	0.69	4.34
63	Minas	VER	02-Oriental	GEN-CFE	15.00	92.09
64	Mocúzari	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	9.60	41.06
65	Oviachic	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	19.20	85.01
66	Peñitas (Ángel Albino Corzo)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	420.00	1,463.31
67	Platanal	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	12.60	45.38
68	Portezuelo I	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	2.00	9.73
69	Portezuelo II	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	2.12	5.08
70	Puente Grande	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	9.00	33.15
71	San Pedro Porúas	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	2.56	3.14
72	Sanalona (Salvador Alvarado)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	14.00	49.95
73	Santa Bárbara	MEX	01-Central	GEN-CFE	22.53	1.46
74	Santa Rosa (General Manuel M. Diéguez)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	70.00	267.84
75	Schpoiná	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	2.24	9.22
76	Tamazulapan	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	2.48	6.96
77	Temascal	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	354.00	1,514.71
78	Texolo	VER	02-Oriental	GEN-CFE	1.60	11.98
79	Tingambato	MEX	01-Central	GEN-CFE	42.00	45.99
80	Tirio	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	1.10	2.68
81	Tuxpango	VER	02-Oriental	GEN-CFE	39.00	197.35
82	Villita (José María Morelos)	MICH	01-Central	GEN-CFE	320.00	1,381.47
83	Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama)	HGO	03-Occidental	GEN-CFE	292.00	1,615.10
84	Zumpimito	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	8.40	51.62
85	Hidroeléctrica de Tacotán	JAL	03-Occidental	P.P.	6.00	4.10
86	Hidroeléctrica Trigomil	JAL	03-Occidental	P.P.	8.00	27.74
Total					12,642.29	31,847.66

Tabla A 8. Centrales de generación eólica, 2017.

EÓLICA						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Bii Nee Stipa Energía Eólica	OAX	02-Oriental	AUT	26.35	70.02
2	Compañía Eólica de Tamaulipas	TAMS	06-Noreste	AUT	54.00	187.88
3	Compañía Eólica La Mesa	TAMS	06-Noreste	AUT	50.00	92.10
4	Compañía Eoloeléctrica de Ciudad Victoria	TAMS	06-Noreste	AUT	50.00	186.15
5	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 1	OAX	02-Oriental	AUT	90.00	219.01
6	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 2, Parque Eólico Piedra Larga Fase 2	OAX	02-Oriental	AUT	137.50	373.31
7	Dominica Energía Limpia	SLP	03-Occidental	AUT	200.00	366.84
8	Eléctrica del Valle De México	OAX	02-Oriental	AUT	67.50	167.96
9	Energía Limpia de Palo Alto	JAL	03-Occidental	AUT	200.00	196.55
10	Eoliatec del Istmo	OAX	02-Oriental	AUT	164.00	458.04
11	Eoliatec del Pacífico	OAX	02-Oriental	AUT	160.00	424.91
12	Eólica de Arriaga	CHIS	02-Oriental	AUT	32.00	74.57
13	Eólica de Coahuila	COAH	06-Noreste	AUT	199.50	624.59
14	Eólica Dos Arbolitos	OAX	02-Oriental	AUT	70.00	198.52
15	Eólica El Retiro	OAX	02-Oriental	AUT	74.00	173.09
16	Eólica Los Altos	JAL	03-Occidental	AUT	64.60	172.31
17	Eólica Santa Catarina	NL	06-Noreste	AUT	22.00	37.25
18	Eólica Tres Mesas	TAMS	06-Noreste	AUT	62.70	203.64
19	Eólica Tres Mesas 2	TAMS	06-Noreste	AUT	85.80	239.81
20	Eólica Zopiloapan	OAX	02-Oriental	AUT	70.00	204.69
21	Eurus	OAX	02-Oriental	AUT	250.50	802.99
22	Fuerza Eólica del Istmo	OAX	02-Oriental	AUT	80.00	116.40
23	Fuerza y Energía Bii Hioxo	OAX	02-Oriental	AUT	234.00	646.80
24	Generadores Eólicos de México	CHIS	02-Oriental	AUT	19.00	1.26
25	MPG La Bufa	ZAC	03-Occidental	AUT	180.00	-



26	Municipio de Mexicali	BC	08-Baja California	AUT	10.00	24.85
27	Parques Ecológicos de México	OAX	02-Oriental	AUT	101.90	244.48
28	PE Ingenio	OAX	02-Oriental	AUT	49.50	187.92
29	PIER II Quecholac Felipe Ángeles	PUE	02-Oriental	AUT	66.00	200.33
30	Stipa Nayaa	OAX	02-Oriental	AUT	74.00	215.07
31	Ventika	NL	06-Noreste	AUT	126.00	474.69
32	Ventika II	NL	06-Noreste	AUT	126.00	496.57
33	Vientos del Altiplano	ZAC	06-Noreste	AUT	139.98	103.29
34	Energía Sierra Juárez	BC	08-Baja California	EXP	156.00	453.34
35	Energía Sonora PPE	SON	04-Noroeste	GEN	2.00	4.14
36	La Venta I-II	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	84.20	103.13
37	Puerto Viejo (Guerrero Negro)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	0.60	-
38	Yuumil'iik	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	1.50	1.66
39	Instituto de Investigaciones Electricas	OAX	02-Oriental	P.P.	5.00	0.00
40	CE Oaxaca Cuatro, Oaxaca IV	OAX	02-Oriental	PIE	102.00	380.83
41	CE Oaxaca Dos, Oaxaca II	OAX	02-Oriental	PIE	102.00	343.82
42	CE Oaxaca Tres, Oaxaca III	OAX	02-Oriental	PIE	102.00	307.25
43	Energías Ambientales de Oaxaca, Oaxaca I	OAX	02-Oriental	PIE	102.00	266.10
44	Energías Renovables La Mata, La Mata (Sureste I fase II)	OAX	02-Oriental	PIE	102.00	317.10
45	Energías Renovables Venta III, La Venta III	OAX	02-Oriental	PIE	102.85	256.44
Total					4,198.98	10,619.66

Tabla A 9. Centrales de generación geotermoelectrica, 2017.

GEOTÉRMOLÉCTRICA						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Geotérmica para el Desarrollo	NAY	03-Occidental	AUT	52.00	153.28
2	Cerro Prieto I	BC	08-Baja California	GEN-CFE	30.00	232.09
3	Cerro Prieto II	BC	08-Baja California	GEN-CFE	220.00	1,425.69
4	Cerro Prieto III	BC	08-Baja California	GEN-CFE	220.00	1,007.47
5	Cerro Prieto IV	BC	08-Baja California	GEN-CFE	100.00	859.34
6	Los Azufres	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	225.00	1,759.51
7	Los Humeros	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	68.60	556.72
8	Tres Vírgenes	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	10.00	47.08
Total					925.60	6,041.19

Tabla A 10. Centrales de generación solares, 2017.

SOLAR FOTOVOLICA						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Autoabastecimiento Renovable	AGS	03-Occidental	AUT	0.79	1.26
2	Coppel	SON	04-Noroeste	AUT	0.99	1.76
3	Ecopur	GTO	03-Occidental	AUT	3.00	0.85
4	Generadora Solar Apaseo	GTO	03-Occidental	AUT	0.98	1.79
5	Iusasol 1	MEX	01-Central	AUT	18.30	42.70
6	Iusasol Base	MEX	01-Central	AUT	0.92	0.68
7	Los Santos Solar I	CHIH	05-Norte	AUT	20.00	16.20
8	Oomapas Nogales	SON	04-Noroeste	AUT	0.88	0.93
9	Parque Solar Coahuila	COAH	05-Norte	AUT	19.80	9.42
10	Plamex	BC	08-Baja California	AUT	1.04	1.35
11	Prosolia Internacional de México	QRO	03-Occidental	AUT	1.40	0.56
12	Fortius Electromecánica	JAL	03-Occidental	GEN	7.92	2.82
13	Parque Solar Villanueva Tres	COAH	06-Noreste	GEN	10.00	3.56
14	Productora Yoreme	SON	04-Noroeste	GEN	0.74	0.92
15	Tai Durango Cinco	DGO	05-Norte	GEN	30.00	61.30
16	Tai Durango Cuatro	DGO	05-Norte	GEN	6.25	12.02
17	Tai Durango Dos	DGO	05-Norte	GEN	6.25	11.96
18	Tai Durango Tres	DGO	05-Norte	GEN	3.50	7.67



19	Cerro Prieto	BC	08-Baja California	GEN-CFE	5.00	8.25
20	Sta. Rosalía (Tres Vírgenes)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	1.00	2.03
21	Avant Energías Renovables I	CHIH	05-Norte	P.P.	29.36	60.66
22	Servicios Comerciales de Energía	BCS	09-Baja California Sur	P.P.	30.00	70.27
23	Tai Durango Uno	DGO	05-Norte	P.P.	15.63	24.73
Total					213.73	343.69

Tabla A 11. Centrales de generación bioenergía, 2017.

BIOENERGÍA						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Azuremex	TAB	02-Oriental	AUT	2.50	1.50
2	BSM Energía De Veracruz	VER	02-Oriental	AUT	12.75	30.37
3	Compañía Azucarera de Los Mochis	SIN	04-Noroeste	AUT	14.00	5.24
4	Compañía Azucarera del Río Guayalejo	TAMS	06-Noreste	AUT	45.50	17.07
5	Compañía Azucarera La Fé	CHIS	02-Oriental	AUT	13.06	24.69
6	Cooperativa La Cruz Azul	AGS	03-Occidental	AUT	1.01	0.22
7	Degremont	CHIH	05-Norte	AUT	1.35	1.15
8	Ecosys III	GTO	03-Occidental	AUT	1.75	0.64
9	Empacadora San Marcos	PUE	02-Oriental	AUT	0.97	-
10	Energía Láctea	CHIH	05-Norte	AUT	0.80	-
11	Fideicomiso Ingenio Plan de San Luis	SLP	06-Noreste	AUT	9.00	26.51
12	Grupo Azucarero San Pedro	VER	02-Oriental	AUT	10.00	16.10
13	Impulsora de la Cuenca del Papaloapan	VER	02-Oriental	AUT	24.20	34.58
14	Ingenio Adolfo López Mateos	OAX	02-Oriental	AUT	13.50	18.23
15	Ingenio Alianza Popular	SLP	06-Noreste	AUT	6.40	19.14
16	Ingenio El Higo	VER	06-Noreste	AUT	21.80	49.06
17	Ingenio El Mante	TAMS	06-Noreste	AUT	5.75	9.41
18	Ingenio El Molino	NAY	03-Occidental	AUT	10.00	12.53
19	Ingenio Eldorado	SIN	04-Noroeste	AUT	9.60	6.96
20	Ingenio Melchor Ocampo	JAL	03-Occidental	AUT	6.10	15.47
21	Ingenio Presidente Benito Juárez	TAB	02-Oriental	AUT	14.00	16.35
22	Ingenio San Francisco Ameca_AUT	JAL	03-Occidental	AUT	4.50	12.64
23	Ingenio San Miguelito	VER	02-Oriental	AUT	5.20	6.87
24	Ingenio San Rafael de Pucté	QR	07-Peninsular	AUT	49.00	22.02
25	Ingenio Tala	JAL	03-Occidental	AUT	12.00	3.31
26	Ingenio Tamazula	JAL	03-Occidental	AUT	10.47	34.00
27	Ingenio Tres Valles	VER	02-Oriental	AUT	12.00	95.99
28	Kimberly-Clark de México	VER	02-Oriental	AUT	10.00	-
29	Lorean Energy Group	COAH	06-Noreste	AUT	2.12	1.14
30	Nacional Financiera_AUT	MOR	01-Central	AUT	8.60	15.52
31	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Dulces Nombres	NL	06-Noreste	AUT	9.20	-
32	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Norte	NL	06-Noreste	AUT	1.60	-
33	Sociedad Autoabastecedora de Energía Verde de Aguascalientes, S. De R. L. De C. V.	AGS	03-Occidental	AUT	2.62	6.40
34	TMQ Generación Energía Renovable	QRO	03-Occidental	AUT	2.75	2.35
35	Transformadora de Energía Eléctrica de Juárez	CHIH	05-Norte	AUT	6.40	30.80
36	Atlatic	QRO	03-Occidental	COG	1.05	4.62
37	Atlatic, Planta El Ahogado	JAL	03-Occidental	COG	2.83	5.60
38	Bio Pappel, Planta Atenquique	JAL	03-Occidental	COG	15.50	35.86
39	Bioeléctrica de Occidente	NAY	03-Occidental	COG	35.36	7.56
40	Bioenergía de Nuevo León	NL	06-Noreste	COG	16.96	87.32
41	Conservas La Costeña y Jugomex	MEX	01-Central	COG	0.97	5.47
42	Destilería del Golfo	VER	02-Oriental	COG	8.00	13.87
43	Energía Renovable de Cuautla	MOR	01-Central	COG	1.07	2.87
44	GAT Energía	VER	02-Oriental	COG	45.00	135.41
45	Huixtla Energía	CHIS	02-Oriental	COG	12.00	23.54
46	Ideal Saneamiento de Saltillo	COAH	06-Noreste	COG	0.86	5.56



47	Piasa Cogeneración	VER	02-Oriental	COG	40.00	161.48
48	Tala Electric	JAL	03-Occidental	COG	25.00	79.94
49	Tampico Renewable Energy	VER	06-Noreste	COG	40.00	186.38
50	Aguas Tratadas del Valle de México,	HGO	01-Central	GEN	32.60	26.37
51	Energreen Energía PI	MEX	01-Central	GEN	1.60	0.16
52	Granja Generadora de Energía Solar	DGO	05-Norte	GEN	2.00	-
53	Granjas Carroll de México, Central Cuyuaco	PUE	02-Oriental	GEN	1.08	0.00
54	Impulsora Azucarera del Trópico	CAMP	07-Peninsular	GEN	13.00	18.07
55	Ingenio Lázaro Cárdenas	MICH	03-Occidental	GEN	8.00	8.99
56	Renova Atlatec	JAL	03-Occidental	GEN	11.41	-
57	Ylem Energy	DGO	05-Norte	GEN	1.60	1.66
58	Central Motzorongo	VER	02-Oriental	U.P.C.	20.00	19.78
59	Compañía Cervecera de Zacatecas	ZAC	03-Occidental	U.P.C.	50.00	136.94
60	Compañía Industrial Azucarera	VER	02-Oriental	U.P.C.	5.50	12.08
61	Fideicomiso Ingenio Atencingo	PUE	02-Oriental	U.P.C.	15.00	28.79
62	Fideicomiso Ingenio La Providencia	VER	02-Oriental	U.P.C.	7.00	12.56
63	Fomento Azucarero del Golfo	VER	06-Noreste	U.P.C.	17.60	0.70
64	Ingenio El Carmen	VER	02-Oriental	U.P.C.	6.75	10.00
65	Ingenio El Modelo	VER	02-Oriental	U.P.C.	9.00	15.50
66	Ingenio El Potrero	VER	02-Oriental	U.P.C.	10.00	20.09
67	Ingenio El Refugio	OAX	02-Oriental	U.P.C.	4.00	0.26
68	Ingenio La Gloria	VER	02-Oriental	U.P.C.	52.50	9.44
69	Ingenio La Margarita	OAX	02-Oriental	U.P.C.	7.30	29.40
70	Ingenio Mahuixtlán	VER	02-Oriental	U.P.C.	3.26	4.72
71	Ingenio Plan De Ayala	SLP	06-Noreste	U.P.C.	16.00	13.98
72	Ingenio Quesería	COL	03-Occidental	U.P.C.	5.50	22.83
73	Ingenio San Miguel del Naranjo	SLP	03-Occidental	U.P.C.	49.30	105.38
74	Ingenio San Nicolás	VER	02-Oriental	U.P.C.	14.40	53.62
75	Ingenio Santa Clara	MICH	03-Occidental	U.P.C.	9.10	9.29
76	Nacional Financiera_UPC	MOR	01-Central	U.P.C.	3.40	5.79
77	Santa Rosalía de La Chontalpa	TAB	02-Oriental	U.P.C.	25.20	25.57
Total					1,007.18	1,883.73

Tabla A 12. Centrales de generación nucleoelectrónica, 2017.

NUCLEOENERGÍA						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Laguna Verde	VER	02-Oriental	GEN-CFE	1,608.00	10,882.86
Total					1,608.00	10,882.86

Tabla A 13. Centrales de generación cogeneración eficiente, 2017.

COGENERACIÓN EFICIENTE						
No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	CE G. Sanborns 2	CDMX	01-Central	COG	1.00	6.64
2	CE G. Sanborns Perisur	CDMX	01-Central	COG	1.00	3.57
3	CE G. Sanborns Satélite	MEX	01-Central	COG	1.00	6.91
4	Ce G. Sanborns	CDMX	01-Central	COG	1.15	6.42
5	Celulosa y Papel del Bajío	GTO	03-Occidental	COG	1.77	9.90
6	Cogeneración de Energía Limpia de Cosoleacaque	VER	02-Oriental	COG	118.00	528.91
7	Energía Infra	VER	02-Oriental	COG	144.95	952.98
8	Energía MK KF	TAMS	06-Noreste	COG	35.93	282.86
9	Energía San Pedro	NL	06-Noreste	COG	2.00	0.34
10	Enerkin	YUC	07-Peninsular	COG	13.13	86.54
11	Fábrica de Papel San Francisco	BC	08-Baja California	COG	22.70	183.39
12	Iberdrola Cogeneración Altamira	TAMS	06-Noreste	COG	60.90	53.10
13	Iberdrola Cogeneración Bajío	QRO	03-Occidental	COG	61.50	5.63
14	Iberdrola Cogeneración Ramos	COAH	06-Noreste	COG	60.10	356.39
15	Igsapak Cogeneración	HGO	01-Central	COG	60.00	281.03



16	Industrias de Hule Galgo	HGO	01-Central	COG	6.60	17.32
17	Papeles y Conversiones de México	NL	06-Noreste	COG	5.20	19.27
18	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Nuevo Pemex	TAB	02-Oriental	COG	367.40	2,703.44
19	Productora de Papel	NL	06-Noreste	COG	18.00	74.79
20	Productos Alimenticios La Moderna	JAL	03-Occidental	COG	3.77	13.15
21	Productos Farmacéuticos	AGS	03-Occidental	COG	4.10	27.93
22	Promax Energía	NL	06-Noreste	COG	16.20	81.96
23	Sánchez	CDMX	01-Central	COG	1.88	7.53
24	Sistemas Energéticos Sisa	VER	02-Oriental	COG	64.00	323.41
25	Sistemas Energéticos Sisa, Planta II	VER	02-Oriental	COG	64.00	371.55
26	Sky EPS Supply SM	PUE	02-Oriental	COG	20.40	168.57
27	Sky EPS Supply	PUE	02-Oriental	COG	27.20	173.88
28	Tlalnepantla Cogeneración	MEX	01-Central	COG	28.00	114.86
29	Unión Energética del Noroeste	SON	04-Noroeste	COG	30.00	37.34
30	Lesaffre Energías Mexicanas	VER	02-Oriental	GEN	8.73	32.05
				Total	1,250.61	6,931.66

ANEXO 1. ESTANCIA INTERNACIONAL

IMDEA Energía
Parque tecnológico de Móstoles
Avenida Ramón de la Sagra, 3
28935 Móstoles, Madrid
España



instituto
imdea
energía

Madrid, España a 22 de noviembre de 2018.

A QUIEN CORRESPONDA
PRESENTE

ASUNTO: Constancia de estancia académica.

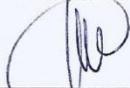
Por medio de la presenta hago constar que la alumna **GUADALUPE DIOCELINA TOLEDO VÁZQUEZ**, estudiante de la Maestría en Sustentabilidad Energética en el Centro de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), concluyó su estancia académica en la Unidad de Análisis de Sistemas del Instituto Madrileño de Estudios Avanzados - Energía (IMDEA-E), en Madrid, España.

La estancia se realizó en el periodo del 03 de septiembre al 22 de noviembre de 2018.

Al término de la estancia se cumplió con el objetivo de diseñar un modelo energético para el sistema eléctrico mexicano mediante el desarrollo de escenarios de crecimiento en el software Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP).

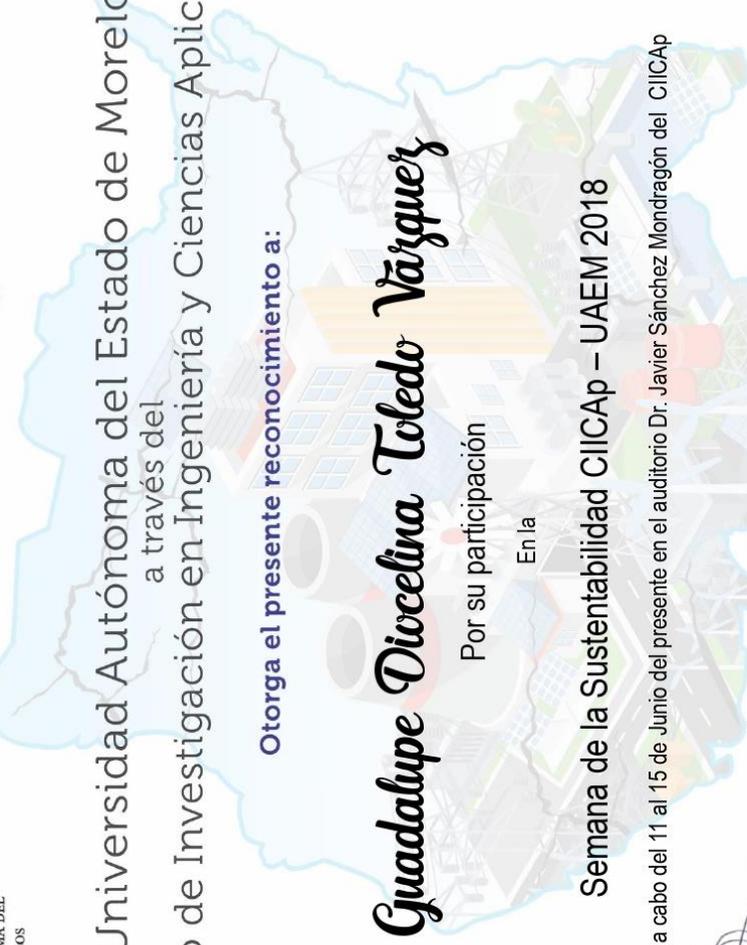
Sin más por el momento quedamos a sus órdenes para cualquier duda o aclaración

Atentamente



Dr. Diego García Gusano
Investigador Post Doctoral
Unidad de Análisis de Sistemas IMDEA-Energía

ANEXO 2. PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS



 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

 Instituto de
Investigación en
Ciencias
Básicas y
Aplicadas

 CIICAp

 SEMAR
4.ª
Subsecretaría de Planeación
2018

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
a través del
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

Guadalupe Divcelina Toledo Vázquez

Por su participación
En la

Semana de la Sustentabilidad CIICAp – UAEM 2018

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp


Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

 Instituto de Investigación en
Ciencias Básicas y
Aplicadas





La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
a través del
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

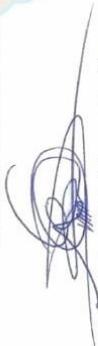
**Guadalupe Doreelina Toledo Vázquez, Jesús Cerezo Román,
Antonio Rodríguez Martínez**

Por presentar el trabajo titulado "Diseño y Desarrollo de un Modelo Energético para
El Sistema Eléctrico Mexicano" en la Sesión de Carteles

De la

Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018

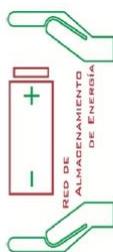
Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp



Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018

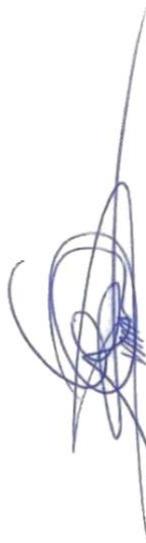


Constancia

A: Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez, Jesús Cerezo Román, Antonio Rodríguez Martínez.

Por su participación en la Modalidad de Póster en el IV Encuentro y II Congreso Internacional de la Red Temática de Sustentabilidad Energética Medio Ambiente y Sociedad (Red SUMAS) con el Tema:

”Análisis y Selección de Indicadores para la Generación de Prospectivas del Sistema Eléctrico Mexicano ”



Dr. Antonio Rodríguez Martínez

Responsable Técnico
Red SUMAS



*Reunión de Redes de Energía del 24 al 28 de Septiembre del 2018
Cuernavaca Morelos, México*



AMIDIQ
Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ)

AL ENCUENTRO NACIONAL DE LA AMIDIO
4C
Plataforma de la Investigación Aplicada para el desarrollo nacional

Otorga el presente
RECONOCIMIENTO
a:

Antonio Rodríguez Martínez, Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez, Jesús Cerezo Román,
Gabriela Hernández Luna, Diego García Gusano,

Por la presentación del trabajo:
PROPUESTA DE MODELO ENERGÉTICO PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO MEXICANO
ID: 742

[Signature]
Dr. Miguel Ángel Morales Cabrera
PRESIDENTE DEL AMIDIO Y DEL COMITÉ ORGANIZADOR

[Signature]
Dr. Tomás Viveros García
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

Huatulco, Oaxaca, México 7 al 10 de Mayo de 2019



Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

ANTONIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, GUADALUPE, DIOCELINA TOLEDO VÁZQUEZ, JESÚS CEREZO ROMÁN,
GABRIELA HERNÁNDEZ LUNA, DIEGO GARCÍA GUSANO

**Por ser ganador del concurso de carteles en el área de
ENERGÍA**

Con el trabajo titulado:
PROPUESTA DE MODELO ENERGÉTICO PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO MEXICANO
ID: 742

Dentro del XL Encuentro Nacional de la AMIDIQ



Dr. Miguel Ángel Morales Cabrera
PRESIDENTE DEL AMIDIQ Y DEL COMITÉ ORGANIZADOR



Dr. Tomás Viveros García
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

Huatulco, Oaxaca, México 7 al 10 de Mayo de 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



ANEXO 3. CURSOS Y TALLERES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Instituto de Investigación en Ciencias Básicas y Aplicadas

CIICAp

SEMANA de la Sustentabilidad 2018

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos a través del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

Guadalupe Divicelina Toledo Vázquez

Por su participación en el curso General Algebraic Modeling System (GAMS) de una duración de 2 h dentro de los Talleres de la Red SUMAS

En la

Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018



 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

 Instituto de
Investigación en
Ciencias Básicas y
Aplicadas

 CIICAp

 SEMANA
de la
Sustentabilidad
2018

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

Guadalupe Divicelina Toledo Vázquez

Por su participación en el curso
Graphing & Analysis ORIGIN-2018 de una
duración de 2 h dentro de los Talleres de la Red SUMAS

En la

Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018

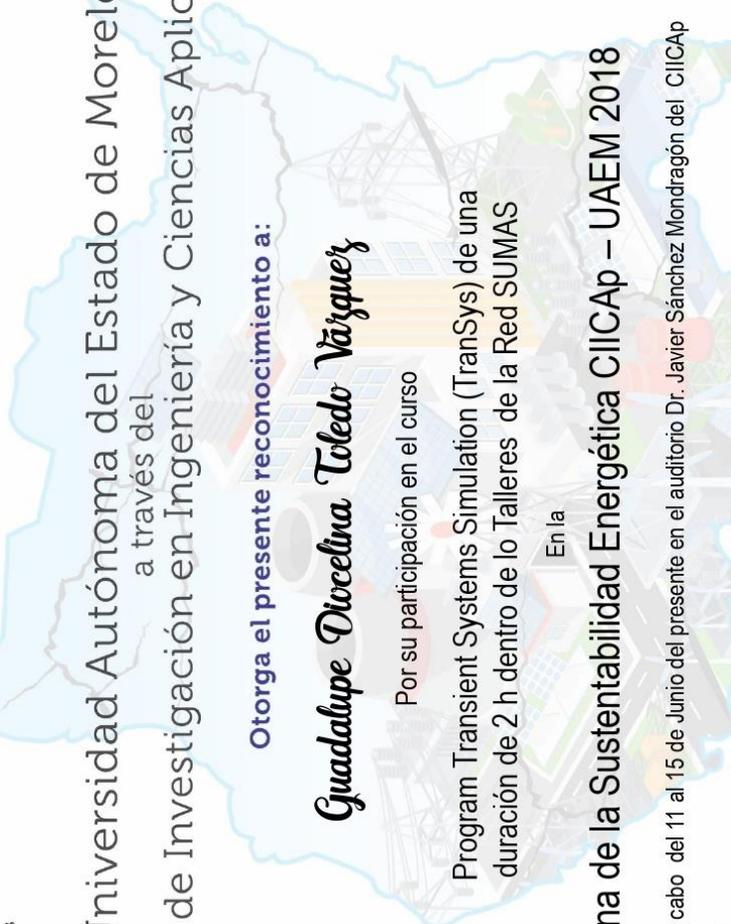
Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp



Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

 Instituto de
Investigación en
Ciencias Básicas y
Aplicadas

 CIICAp

 SEMAR
46
Sustentabilidad
ambiental
2018

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez

Por su participación en el curso
Program Transient Systems Simulation (TranSys) de una
duración de 2 h dentro de lo Talleres de la Red SUMAS

En la

Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp


Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



Instituto de Investigación en Ciencias Básicas y Aplicadas



La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
a través del
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez

Por su participación en el curso
Engineering Equation Solver (EES) de una
duración de 2 h dentro de los Talleres de la Red SUMAS

En la

Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Instituto de Investigación en
Ciencias Básicas y
Aplicadas



CIICAp
ANIVERSARIO
20
AÑOS



RED SUMAS 2+
Redes de Investigación
Multidisciplinarias y Transversales



COMACYT
No. de Proyecto: 289123

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos a través del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga la presente constancia a:

Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez

Por su asistencia y participación en los Talleres “Instalación de Sistemas Fotovoltaicos y Teorías de los medios de vida entorno a las energías renovables” dentro del 5to Encuentro y 3er Congreso Internacional de la Red SUMAS Retos y oportunidades de las energías renovables para la seguridad alimentaria, hídrica y energética en México.



Dra. Elsa Carmira Menchaca Campos
PRESIDENTE DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL IICBA
DIRECTORA INTERINA DEL CIICAp



Dr. Antonio Rodríguez Martínez
RESPONSABLE TÉCNICO DE LA RED SUMAS




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS


Instituto de
Investigación en
Ciencias
Básicas y
Aplicadas


CIICAp


SEMAR
SUSTENTABILIDAD
46%
2019

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
a través del
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga la presente constancia a:

Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez

Por participar en el taller **Energía Fotovoltaica: Teoría y Práctica**
“Simulación de celdas fotovoltaicas, Instalación de sistemas fotovoltaicos”
con una duración de 6 horas dentro de la
“Semana de la Sustentabilidad CIICAp-UAEM 2019”.


UAEM


MICA **Fernando Ayala Mota**
TALLERISTA-SIMULACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS


YARATZED **AGUILAR AYORA**
TALLERISTA-INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN INGENIERÍA Y
CIENCIAS APLICADAS**


7 COLOCUTO


RED DE MAESTRÍAS


CIICAp


XXIV ENCUENTRO
A LAS
CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

Miércoles 15 de mayo de 2019.




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS


Instituto de Investigación en
Ciencias Básicas y
Aplicadas


80 años
CIICAp
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS


RED SUMAS 2.
Iniciativa de Investigación y Transferencia


CONACYT
No. de Proyecto: 201123

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos a través del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

Guadalupe Diocelina Toledo Vázquez

Por asistir al Taller, “Introducción a la optimización de sistemas energéticos utilizando Julia”, con una duración de 12 horas, dentro de las actividades del 5^{to} Encuentro y 3^{er} Congreso Internacional de la Red SUMAS Retos y oportunidades de las energías renovables para la seguridad alimentaria, hídrica y energética en México, el cual se llevó a cabo los días 7 y 8 de noviembre de 2019 en las instalaciones del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la UAEM.


Dra. Elsa Carmina Merichatka Campos
-DIRECTORA INTERNA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS


Dr. Antonio Rodríguez Martínez
RESPONSABLE TÉCNICO DE LA RED SUMAS


U.A.E.M.
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Universidad Tecnológica de Los Valles Centrales de Oaxaca

A través del proyecto

“Promover igualdad de género con innovación social en energías renovables abatiendo pobreza energética”

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A:

GUADALUPE DIOCELINA TOLEDO VAZQUEZ

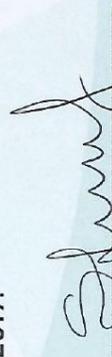
Por su asistencia al taller
Formulación de proyectos de innovación social en energías renovables

Temixco, Morelos. Del 22 al 24 de octubre del 2019.

“Proyecto apoyado por el CONACYT”


Nydia Delhi Mata Sánchez
Rectora de la Universidad Tecnológica
de los Valles Centrales de Oaxaca


Karla G. Cedano Villavicencio
Secretaría de Gestión Tecnológica y Vinculación en
el Instituto de Energías Renovables de la UNAM.


Sandra Caballero Espinosa
Fundadora y Coordinadora General de la Red
Mujeres en Energía Renovable y Eficiencia
Energética