

PROSPECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES 2016 - 2030



PROSPECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES

2016-2030



SENER

SECRETARÍA DE ENERGÍA

MÉXICO, 2016

SECRETARÍA DE ENERGÍA

Pedro Joaquín Coldwell

Secretario de Energía

Leonardo Beltrán Rodríguez

Subsecretario de Planeación y Transición Energética

Cesar Emilio Hernández Ochoa

Subsecretaria de Electricidad

Aldo Flores Quiroga

Subsecretario de Hidrocarburos

Gloria Brasdefer Hernández

Oficial Mayor

Rafael Alexandri Rionda

Director General de Planeación e Información Energéticas

Efraín Villanueva Arcos

Director General de Energías Limpias

Víctor Manuel Avilés Castro

Director General de Comunicación Social

ELABORACIÓN Y REVISIÓN:

Rafael Alexandri Rionda

Director General de Planeación e Información Energéticas
(ralexandri@energia.gob.mx)

Luis Alfonso Muñoz Cano

Director General Adjunto de Energías Renovables
(lmunozcano@energia.gob.mx)

Luis Gerardo Guerrero Gutiérrez

Director de Integración de Prospectivas del Sector
(lgguerrero@energia.gob.mx)

Fabiola Rodríguez Bolaños

Subdirectora de Integración de Política Energética
(frodriguez@energia.gob.mx)

Alain de los Ángeles Ubaldo Higuera

Subdirectora de Consumo de Combustibles
(aubaldo@energia.gob.mx)

Ana Lilia Ramos Bautista

Jefa de Departamento de Política Energética
(aramos@energia.gob.mx)

Apoyo administrativo: María de la Paz León Femat, Maricela de Guadalupe Novelo Manrique.

2016. Secretaría de Energía

AGRADECIMIENTOS

Centro Nacional de Control de Energía

Comisión Federal de Electricidad

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

Comisión Reguladora de Energía

Dirección Corporativa de Operaciones de PEMEX

Dirección General de Energías Limpias, SENER

Instituto Mexicano del Petróleo

Instituto Nacional de Investigaciones Eléctricas y Energías Limpias

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

PEMEX Corporativo

Programa de Colaboración México-Dinamarca en Materia de Energía y Cambio Climático

Secretaría de Hacienda y Crédito Público

Subsecretaría de Hidrocarburos, SENER

Subsecretaría de Electricidad, SENER

ÍNDICE

Índice	5
Índice de Cuadros	8
Índice de Figuras	10
Presentación	13
Introducción	14
Resumen Ejecutivo	15
1. Marco normativo y de Políticas de las Energías Renovables	17
1.1. Las Energías Renovables en el marco de la Reforma Energética	18
1.1.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	19
1.1.2. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF)	19
1.1.3. Ley de Planeación	19
1.1.4. Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética	19
1.1.5. Ley General de Cambio Climático	19
1.1.6. Ley de la Industria Eléctrica (LIE)	20
1.1.7. Ley de la Comisión Federal de Electricidad	20
1.1.8. Ley de Transición Energética	21
1.1.9. Ley de Energía Geotérmica	21
1.1.10. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos	21
1.2. Instrumentos para la promoción de Energías Renovables en la Planeación Energética	22
1.2.1. Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios	22
1.2.2. Estrategia Nacional de Cambio Climático	23
1.2.3. Programa Sectorial de Energía 2013-2018	23
1.2.4. Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018	24
1.2.5. Programa Especial de la Transición Energética (PETE) 2016-2018	24
1.2.6. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018	25
1.2.7. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional	26
1.3. Inventario Nacional de las Energías Limpias (INEL)	26

1.4.	Atlas de Zonas con Alto Potencial en Energías Limpias.....	27
2.	Diagnóstico Histórico y Prospectivo de las Energías Renovables.....	29
2.1.	Contexto Internacional de las Energías Renovables.....	29
2.2.	Tendencias mundiales de los costos y del despliegue de las energías renovables.....	31
2.3.	Diagnóstico de la Economía Mexicana.....	33
2.4.	Las Energías Renovables en la Matriz Energética.....	37
2.4.1.	Generación Eléctrica con Energía Hidroeléctrica.....	40
2.4.2.	Generación Eléctrica con Energía Eólica.....	48
2.4.3.	Generación Eléctrica con Energía Geotérmica.....	53
2.4.4.	Generación Eléctrica con Energía Solar Fotovoltaica.....	57
2.4.5.	Generación Eléctrica con Bioenergía.....	62
2.5.	Biocombustibles para el Sector Transporte.....	69
2.5.1.	Cadena de valor y costos actuales de producción del biodiésel en México.....	69
2.5.2.	Recurso para la producción de biodiésel.....	73
2.5.3.	Potencial de producción de biodiésel de grasas animales.....	82
2.5.4.	Potencial técnico conjunto de aceites de cocina usados y grasas animales para biodiésel.....	84
2.5.5.	Potencial de biomasa forestal leñosa.....	85
2.5.6.	Avances de la Prueba de Concepto de Introducción de Etanol Anhidro en las gasolinas.....	90
3.	Estudios y Tendencias de las Energías Renovables.....	93
3.1.	Aprovechamiento Térmico de Residuos Sólidos como una alternativa de propósito dual.....	93
3.1.1.	La incineración de Residuos Sólidos Urbanos, como una propuesta alternativa de aprovechamiento térmico	93
3.1.2.	Generación de energía eléctrica por RSU.....	94
3.1.3.	Balance de emisiones.....	95
3.2.	Generación distribuida.....	98
3.3.	Comparación de dos instrumentos de política para el fomento de energías limpias.....	100
3.3.1.	Datos y supuestos.....	100
3.3.2.	Comparación de dos instrumentos de política.....	105
	Glosario.....	111
	Abreviaturas, acrónimos y siglas.....	125

Referencias	129
-------------------	-----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. 1. Principales Variables Macroeconómicas de México, 2005-2015	33
Cuadro 2. 2. Potencial de generación eléctrica con energías limpias en México	37
Cuadro 2. 3. Escenarios de Potenciales de capacidad y generación para las energías renovables	38
Cuadro 2. 4. Centrales de Generación Hidroeléctrica 2015	42
Cuadro 2. 5. Centrales de Generación Eólica 2015	49
Cuadro 2. 6. Potencial de Capacidad y Generación Probables con escenarios de la energía eólica	51
Cuadro 2. 7. Centrales de generación Geotérmica, 2015	54
Cuadro 2. 8. Potencial de Capacidad y Generación Probables con escenarios de la energía geotérmica	55
Cuadro 2. 9. Centrales de generación solar 2015	58
Cuadro 2. 10. Potencial de Capacidad y Generación Probables con escenarios de la energía solar fotovoltaica....	59
Cuadro 2. 11. Centrales de generación con Bioenergía, 2015	64
Cuadro 2. 12. Potencial de Capacidad y Generación Probables con escenarios de la bioenergía	67
Cuadro 2. 13. Factores que intervienen en las cadenas de producción a partir de aceites usados y grasas.....	70
Cuadro 2. 14. Plantas comerciales de biodiésel	70
Cuadro 2. 15. Costos de producción con aceite puesto en fábrica.....	71
Cuadro 2. 16. Costos de producción con recolección de aceite.....	72
Cuadro 2. 17. Costos de producción a partir de sebo de res	72
Cuadro 2. 18. Rendimiento en aceite de cultivos oleaginosos	74
Cuadro 2. 19. Tendencia decenal de los cultivos de Jatropha (arriba) e Higuierilla	75
Cuadro 2. 20. Tendencia decenal de los cultivos de Canola y Girasol	75
Cuadro 2. 21. Tendencia decenal de los cultivos de Coco, palma aceitera y soja	76
Cuadro 2. 22. Potencial de expansión, producción y costos de cultivos oleaginosos para biodiésel	77
Cuadro 2. 23. Valores acumulados de superficie, producción y costos derivados de la expansión de cultivos para biodiésel	80
Cuadro 2. 24. Componentes de costo de producción de materias primas para aceites.....	81
Cuadro 2. 25. Costos finales de producción de materias primas para aceites.....	82
Cuadro 2. 26. Potencial técnico de grasas animales para biodiésel.....	84

Cuadro 2. 27. Potenciales técnicos de recuperación de grasas animales y aceites de cocina usados en 2015.....	84
Cuadro 2. 28. Disponibilidad potencial de biomasa de esquilmos (tMS/a) y rendimiento agrícola medio (t/ha) de cultivos	84
Cuadro 2. 29. Superficie aprovechable de bosques y selvas nativas de México.....	86
Cuadro 2. 30. Producción potencial sostenible de biomasa energética en selvas y bosques de México.....	87
Cuadro 2. 31. Empresas Licitantes	91
Cuadro 2. 32. Resultados de la etapa de negociación de precios y evaluación de las propuestas económicas.....	91
Cuadro 3. 1. Comparación de emisiones para una capacidad instalada de 113.2 MW.....	97
Cuadro 3. 2. Capacidad de generación existente 2015	101
Cuadro 3. 3. Adiciones exógenas a la capacidad de generación representada en el modelo.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Marco legal de la participación de las Energías Renovables	18
Figura 1. 2. Mecanismos y Políticas de fomento de Energías Renovables.....	22
Figura 1. 3. Metas establecidas en la Estrategia.....	23
Figura 1. 4. Elementos sustantivos del PRONASE	24
Figura 1. 5. Elementos del PETE	25
Figura 1. 6. Objetivos del PEAER	25
Figura 1. 7. Elementos principales del PRODESEN.....	26
Figura 1. 8. Tipos de potencial de generación eléctrica con energías limpias.....	27
Figura 1. 9. Tipos de Escenarios del AZEL	28
Figura 2. 1. Panorama Global de la Capacidad de Energía Renovable y Generación de Electricidad, 2015	30
Figura 2. 2. Capacidad Instalada en Latinoamérica con Energías Renovables, 2015.....	30
Figura 2. 3. Evolución de la Generación de Electricidad en Latinoamérica, 2000-2014	31
Figura 2. 4. Principales Variables Macroeconómicas de México, 2005-2015	34
Figura 2. 5. Tendencia del consumo de energía eléctrica y el Producto Interno Bruto.....	35
Figura 2. 6. Pronósticos de Población de México, 2005-2030.....	35
Figura 2. 7. Pronósticos del Tipo de Cambio	36
Figura 2. 8. Evolución de la Capacidad Instalada con energías renovables, 2005-2015	39
Figura 2. 9. Evolución de la generación eléctrica bruta por fuente de energía utilizada, 2005-2015.....	40
Figura 2. 10. Capacidad Instalada y Generación Bruta de Centrales hidroeléctricas, 2005-2015	41
Figura 2. 11. Capacidad Instalada y Generación Bruta de centrales Hidroeléctricas por área de control, 2015.....	42
Figura 2. 12. Capacidad adicional por situación de proyectos de Centrales Hidroeléctricas 2016-2030	46
Figura 2. 13. Capacidad adicional por modalidad de tecnología Hidroeléctrica.....	46
Figura 2. 14. Evolución de las adiciones, capacidad instalada y generación de centrales hidroeléctricas, 2016-2030	47
Figura 2. 15. Capacidad Instalada y Generación Bruta de Centrales Eólicas, 2005-2015.....	48
Figura 2. 16. Capacidad Instalada y Generación Bruta de centrales Eólicas por área de control, 2015.....	49
Figura 2. 17. Capacidad adicional por situación de proyectos de Centrales EÓlicas 2016-2030	51
Figura 2. 18. Capacidad adicional por modalidad para la tecnología Eólica 2016-2030.....	52

Figura 2. 19. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad instalada y generación de las centrales eólicas, 2016-2030.....	52
Figura 2. 20. Capacidad efectiva instalada y generación bruta de centrales Geotérmicas, 2005 – 2015.....	53
Figura 2. 21. Capacidad y Generación de Electricidad de energía Geotérmica por área de control, 2015.....	54
Figura 2. 22. Capacidad adicional por situación del proyecto de tecnología Geotérmica, 2016-2030.....	55
Figura 2. 23. Capacidad adicional por modalidad para la tecnología Geotérmica 2016-2030.....	56
Figura 2. 24. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad instalada y generación de la tecnología Geotérmica 2016-2030.....	56
Figura 2. 25. Capacidad efectiva instalada y generación bruta de centrales Solares Fotovoltaicas, 2005 – 2015.....	57
Figura 2. 26. Capacidad y Generación de Electricidad de energía Fotovoltaica por área de control.....	58
Figura 2. 27. Capacidad adicional por situación del proyecto de tecnología Solar Fotovoltaica, 2016-2030.....	60
Figura 2. 28. Capacidad adicional por modalidad para la tecnología Solar Fotovoltaica, 2016-2030.....	60
Figura 2. 29. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad instalada y generación de la tecnología Solar Fotovoltaica 2016-2030.....	61
Figura 2. 30. Capacidad instalada y generación bruta de electricidad con Bagazo de caña, 2005 – 2015.....	62
Figura 2. 31. Capacidad efectiva instalada y generación bruta de energía eléctrica a partir de Biogás, 2005 – 2015.....	63
Figura 2. 32. Capacidad y Generación de Electricidad de energía Bagazo por área de control, 2015.....	64
Figura 2. 33. Capacidad adicional por situación del proyecto y Modalidad de tecnología de Bioenergía, 2016-2030.....	67
Figura 2. 34. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad instalada y generación de la tecnología Bioenergía 2016-2030.....	68
Figura 2. 35. Áreas aptas para la expansión de cultivos oleaginosos.....	77
Figura 2. 36. Superficie para producción de aceites, por clases de costo de materias primas.....	79
Figura 2. 37. Producción de aceites, por clases de costo de materias primas.....	79
Figura 2. 38. Superficie de pastizales en México (arriba) y aquellos aptos para expansión de cultivos de oleaginosas (abajo).....	80
Figura 2. 39. Sacrificio de ganado bovino y porcino en México.....	83
Figura 2. 40. Sacrificio de aves (pollos y gallinas) en México.....	83
Figura 2. 41. Áreas aptas para la tala sustentable.....	86
Figura 3. 1. Planta prototipo para la quema de RSU en México.....	95
Figura 3. 2. Emisiones de una central de RSM.....	96
Figura 3. 3. Balance de emisiones por la incineración de RSU.....	96

Figura 3. 4. Proyecciones para generación distribuida en México al 2030.....	99
Figura 3. 5. Proyección de la demanda de electricidad modelada, y la tasa de crecimiento anual correspondiente....	100
Figura 3. 6. Generación histórica de electricidad en México por tipo de combustible.....	101
Figura 3. 7. Proyección de desarrollo de precios de combustible representada en el modelo.....	102
Figura 3. 8. Proyecciones de desarrollo de costos de inversión para plantas eólicas y solares basadas en tierra y fotovoltaicas representadas en el modelo	103
Figura 3. 9. Velocidad media del viento en 2013	103
Figura 3. 10. Variación de la velocidad media anual del viento en México.....	104
Figura 3. 11. Ubicación de las coordenadas de la serie solar (puntos azules).....	104
Figura 3. 12. Ubicación de las coordenadas de las series de tiempo del viento (puntos rojos).....	105
Figura 3. 13. Emisión de CO ₂	106
Figura 3. 14. Porcentaje de energía limpia en los tres escenarios, modelos de resultados	107
Figura 3. 15. Generación en escenario Principal y Objetivo de CO ₂ , Años elegidos.....	107
Figura 3. 16. El costo total anualizado comparado con el escenario Sin Restricciones	108
Figura 3. 17. Inversión basada en modelos de capacidad de nueva generación en todos los escenarios.....	109
Figura 3. 18. Aumento en los costos totales en comparación con el escenario principal.....	109

PRESENTACIÓN

En 2015 se enfrentaron retos derivados de la implementación de la Reforma Energética. Se lograron establecer las regulaciones e instituciones necesarias para llevar a cabo la transición energética que requiere el país. El objetivo de estos cambios es pasar de un modelo basado en energías fósiles, a un modelo con más energías limpias y una mejor gestión de consumo energético.

Dentro de los principales logros fue la creación de un mercado energético eficiente, justo y más competitivo. Pero para ponerlo en marcha, es necesario el desarrollo de diversos instrumentos financieros y técnicos, como son los Certificados de Energías Limpias obtenidos en las subastas de energía eléctrica, el Inventario de Energías Limpias o el Atlas Potencial de Energías Limpias. En este último se establecen las zonas con alto potencial que se encuentran a distancias convenientes de la Red Nacional de Transmisión, a partir de factores técnicos, como la disponibilidad del recurso, temperatura, latitud, altitud, entre otros, así como restricciones territoriales relacionadas con la protección al medio ambiente y el uso del suelo. Esta plataforma ayudará en la toma de decisiones de los inversionistas y será un insumo relevante para la planeación de las redes de transmisión y distribución en el país.

En todo el mundo hay un ambiente de volatilidad en los energéticos y, ante esto, las energías renovables se han convertido en una opción favorable; aprovechando la creciente demanda por energéticos más limpios y confiables y se han posicionado estratégicamente en el panorama del futuro de la energía.

Así, en México, tras dos subastas eléctricas, se logró obtener precios altamente competitivos a nivel mundial, lo cual permitirá alcanzar la meta de contar con 35 por ciento de generación de energía limpia para el 2024. Aún hay mucho que hacer en este campo, pero se sigue avanzando a pasos firmes, ya que el compromiso con México va más allá de una meta de participación de energías limpias, busca un sector más diversificado y disminuir con ello las emisiones de Gas Efecto Invernadero (GEI).

INTRODUCCIÓN

El nuevo Sistema Eléctrico Nacional, demanda una considerable cantidad de recursos naturales no renovables, que generan importantes cantidades de gases contaminantes. El emplear más fuentes de energía renovable reduciría en gran medida los problemas que causa la dependencia a los combustibles fósiles. Sin embargo, una de las principales problemáticas que afecta al uso de energías renovables es la accesibilidad a la red de transmisión, y en países con mejores sistemas de redes y gran participación de energías renovables variables, el reto se encuentra en la administración de éstas, especialmente durante los picos de consumo.

A nivel mundial, uno de los retos de la transición energética, es incrementar la participación de energías renovables en el sector transporte. En recientes años, se ha impulsado el uso de biocombustibles en algunos vuelos comerciales y se ha fomentado la investigación del empleo de biocombustibles gaseosos (incluyendo el bio-metano) que se emplea como combustible para vehículos.

En México, se están llevando a cabo múltiples esfuerzos para realizar más investigación sobre el tema para su aplicación en el mediano plazo, contribuyendo a la reducción de emisiones contaminantes. Por otra parte, gracias a los programas de electrificación del transporte público y a la mayor penetración de vehículos eléctricos (motocicletas y autotransporte), se han generado más oportunidades para la integración de la energía renovable en México en materia de transporte.

La Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030, es un instrumento de política energética que contiene tanto información histórica como prospectiva de todas aquellas energías renovables consideradas en la Ley. Contiene ejercicios y tendencias de factores que influyen en el desarrollo de éstas. La finalidad es que la información aquí mostrada pueda servir para la toma estratégica en las decisiones de inversión, investigación o política pública.

La Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030, cuenta con tres capítulos principales. El primero aborda el Marco Normativo y de Políticas de las Energías Renovables, que hace referencia a todas aquellas leyes y reglamentaciones a las cuales se encuentran sujetas las energías renovables, en materia de electricidad y participación en el sector transporte.

El segundo capítulo es referente al diagnóstico histórico y prospectivo de cada una de las energías renovables, donde se observa el comportamiento creciente que algunas fuentes de energía han presentado en los últimos diez años como es el caso de las energías solares y eólicas. El tercer y último capítulo, muestra una serie de estudios y tendencias sobre temas relacionados a diferentes fuentes de energías renovables.

RESUMEN EJECUTIVO

La Prospectiva de Energías Renovables sirve como una herramienta de análisis para investigadores, Empresas Productivas del Estado y del sector privado, que requieren información fundamental que permita la toma de decisiones oportunas en sus necesidades de inversión. Cuenta con información histórica y prospectiva, además de también incluir estudios y tendencias apegados al panorama cambiante de los energéticos.

Marco Normativo y de políticas de las Energías Renovables

En los últimos años, se ha buscado el desarrollo de la sustentabilidad energética con el fin de incluir al medio ambiente como uno de los elementos de competencia que contribuyan al desarrollo económico y social de la población. De ahí que exista un claro compromiso, derivado de la Reforma Energética: prever el incremento gradual de la participación de las Energías Renovables en la Industria Eléctrica, para cumplir con las metas establecidas en materia de generación de energías limpias y de reducción de emisiones.

México está comprometido con el cumplimiento de las metas de mitigación establecidas en la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE¹) que señala que el sector eléctrico debe transformarse para que al 2024 un máximo de 65% de la electricidad provenga de combustibles fósiles. Esta meta se ratifica en la Ley General de Cambio Climático que estipula que el 35% de la generación eléctrica provenga de energías limpias para ese mismo año.

Hoy en día estas metas se fortalecen en las nuevas leyes que instan a una mejor planeación de la expansión de la generación de electricidad considerando una incorporación acelerada de energías limpias en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), como es el caso de la Ley de Transición Energética.

Diagnóstico Histórico y Prospectivo de las Energías Renovables

2015 fue un año trascendental para el desarrollo de las energías renovables a nivel mundial, en muchos países se ha dado un sustancial incremento de la capacidad instalada con fuentes renovables, derivado del aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables.

En América Latina y el Caribe, gracias a la diversidad energética con la que cuenta, existe uno de los mercados de energía renovables más dinámicos del mundo. Al cierre del 2015, la capacidad de generación por energías renovables fue 212.4 GW de la cual, la energía hidráulica representó la mayor participación del total regional con una capacidad instalada de 172 GW proveniente de grandes plantas mayores a 10 MW.

En México, al cierre de 2015 la capacidad instalada de generación mediante energías renovables se incrementó 6.6% respecto al periodo 2014, llegando a los 17,140.4 MW, lo cual representó el 25.2% de la capacidad de generación total. La mayor parte de la capacidad en operación renovable continúa siendo hidroeléctrica, que en suma con la energía eólica representan el 80% de la capacidad instalada en energías limpias.

Entre 2005 y 2015, la energía eólica ha presentado la mayor expansión en capacidad instalada con el 104.7% anual. Sin embargo, la energía hidráulica presenta la mayor concentración en la participación total de capacidad instalada con fuentes renovables, pero ha mantenido un ritmo de crecimiento de 1.7% anual.

Respecto a los pronósticos a 2030, las energías renovables adicionarán 24,296.5 MW a la capacidad total del SEN y tendrán en conjunto, poco más del 32% de la generación de energía eléctrica total del SEN.

¹ Ley abrogada y sustituida por La Ley de Transición Energética

Estudios y tendencias de las Energías Renovables

En este capítulo se presentan temas relacionados a aplicaciones de fuentes de energías renovables que se encuentran en proceso de estudio como alternativas en la electrificación del país. Además de un análisis comparativo entre dos instrumentos de política para el fomento de una mayor participación de las energías renovables.

El primer estudio es sobre una alternativa de generación eléctrica que no ha sido explorada en México, la incineración de residuos sólidos urbanos (RSU), dado que en el país ya se tiene alguna experiencia con los rellenos sanitarios para la producción de biogás y consecuentemente generación de electricidad.

El segundo estudio es sobre la situación actual de la Generación Distribuida, los avances que ha tenido a raíz de la publicación de la Ley de Transición Energética y los siguientes pasos.

MARCO NORMATIVO Y DE POLÍTICAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

México cuenta con una gran diversidad de fuentes de energía. Con la explotación de algunos recursos energéticos, como son las energías fósiles² y las altas emisiones contaminantes que de ellas emana, han motivado a que surjan nuevas Políticas Energéticas enfocadas a la inclusión de las fuentes de energía limpia en la matriz energética. Ante esta necesidad, se ha promovido un fuerte desarrollo tecnológico que implique en un futuro, la no dependencia a los combustibles fósiles y a una considerable reducción de los costos que generan, económica y ambientalmente.

Contar con una matriz de generación diversificada es un elemento clave para mitigar el riesgo de fluctuación en los precios de los combustibles fósiles, fortaleciendo la eficiencia económica del sistema en el medio y largo plazo.

En los últimos años, se ha buscado el desarrollo de la sustentabilidad energética con el fin de incluir al medio ambiente como uno de los elementos de competencia que contribuyan al desarrollo económico y social de la población. De ahí que exista un claro compromiso, derivado de la Reforma Energética: prever el incremento gradual de la participación de las Energías Renovables en la Industria Eléctrica, para cumplir con las metas establecidas en materia de generación de energías limpias y de reducción de emisiones.

Las Energías Limpias son aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad definidos como tal en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE)³.

Las Energías Renovables son aquellas energías cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes.

Se consideran fuentes de Energías Renovables⁴ las que se enumeran a continuación:

1. El viento;
2. La radiación solar, en todas sus formas;
3. El movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 watts/m²;
4. La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: de las mareas, del gradiente térmico marino, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;
5. El calor de los yacimientos geotérmicos, y
6. Los Bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

² Son aquellas energías que provienen de la combustión de materiales y sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que contienen carbono y cuya formación ocurrió a través de procesos geológicos. Ley de Transición Energética, Del Objeto de la Ley y Definiciones, Art.3, fracción XVII.

³ Ley de la Industria Eléctrica, Del Objeto y Finalidad de la Ley. Definiciones. Art. 3, fracción XXII.
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf

⁴ Ley de Transición Energética, Del Objeto de la Ley y Definiciones, Art.3, fracción XVI

Es importante mencionar que hay diferencia entre ambas definiciones, ya que las Energías Renovables se encuentran implícitas en las Energías Limpias, más no sucede de forma inversa.

1.1. Las Energías Renovables en el marco de la Reforma Energética

A nivel mundial se han hecho cambios en la perspectiva de la seguridad energética⁵. Estos cambios están orientados a incluir temas como el cambio climático, la escasez del agua, y el manejo de los residuos, dentro de la planeación energética. Para esto se ha creado una serie de leyes y reglamentos, derivados de la Reforma Energética, que fomentan el uso de los recursos provenientes del medio ambiente, y que permite que los inversionistas vean un potencial de beneficio económico a desarrollar, en proyectos de nueva generación limpia en un ambiente de certeza jurídica.

México está comprometido con el cumplimiento de las metas de mitigación establecidas en la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE⁶) que señala que el sector eléctrico debe transformarse para que al 2024 un máximo de 65% de la electricidad provenga de combustibles fósiles⁷. Esta meta se ratifica en la Ley General de Cambio Climático que estipula que el 35% de la generación eléctrica provenga de energías limpias para ese mismo año.

Hoy en día estas metas se fortalecen en las nuevas leyes que instan a una mejor planeación de la expansión de la generación de electricidad considerando una incorporación acelerada de energías limpias en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), como es el caso de la Ley de Transición Energética. A continuación se describe brevemente los ordenamientos legales de las energías renovables:

FIGURA 1. 1. MARCO LEGAL DE LA PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Leyes	Reglamentos
• Artículo 4 • Artículo 25 • Artículo 27 • Artículo 28	• Ley de Planeación • Ley de Órganos Reguladores coordinados en materia Energética • Ley General de Cambio Climáticos • Ley de la Industria Eléctrica • Ley de la Comisión Federal de Electricidad • Ley de Transición Energética • Ley de Energía Geotérmica • Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos	• Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica • Reglamento de la Ley de la Comisión Federal de Electricidad • Reglamento de la Ley de Transición Energética • Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica • Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos

El Reglamento de la Ley de Transición Energética aún se encuentra en proceso de elaboración.
Fuente: SENER.

⁵ Vista como la capacidad de un país para satisfacer la demanda nacional de energía con suficiencia, oportunidad, sustentabilidad y precios adecuados, en el presente y hacia un futuro.

⁶ Ley Abrogada DOF 24-12-2015. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/laerfte/LAERFTE_abro.pdf y sustituida por la Ley de Transición Energética.

⁷ Segundo Transitorio de la LAERFTE.

1.1.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

En su Artículo 4º, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos define el acceso a la salud, a un medio ambiente sano, agua, y vivienda digna como derechos fundamentales para los mexicanos.

En los artículos 25 y 26 de la Constitución se establece que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, para lo cual el Estado planeará y orientará la actividad económica nacional. Dicha organización se hará en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática, que es la base del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, así como de los planes y programas que de él derivan.

Para dar cumplimiento a dicho mandato, la Constitución emana una serie de Leyes que permiten la promoción de las Energías Renovables en la planeación del sector energético, como se describen a continuación.

1.1.2. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF)

La LOAPF, en su artículo 33, señala que corresponde a la Secretaría de Energía (SENER) establecer, conducir y coordinar la política energética del país. Para ello, la SENER deberá dar prioridad a la seguridad y diversificación energética, así como al ahorro de energía y protección del medio ambiente. Este mismo artículo, fracción V, marca que es atribución de la SENER llevar a cabo la planeación energética a mediano y largo plazo, actividad que deberá considerar los criterios de soberanía y seguridad energética, reducción progresiva de impactos ambientales de la producción y consumo de energía, mayor participación de las energías renovables, el ahorro de energía y la mayor eficiencia de su producción y uso, entre otras.

1.1.3. Ley de Planeación

Establece normas y principios básicos para orientar la Planeación Nacional del Desarrollo, así como las bases para el funcionamiento del Sistema Nacional de Planeación Democrática. De acuerdo al artículo 4º de la Ley corresponde al Ejecutivo Federal conducir la planeación del desarrollo nacional.

1.1.4. Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética

La Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética establece las bases para la organización y funcionamiento de los Órganos Reguladores Coordinados, que son la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE). De esta manera, y con el propósito de promover un sector energético competitivo y eficiente, el Estado ejercerá sus funciones de regulación técnica y económica en materia de electricidad e hidrocarburos a través de estas entidades.

1.1.5. Ley General de Cambio Climático

El 6 de junio de 2012 se publicó en el DOF la Ley General de Cambio Climático (LGCC), que tiene como objetivo garantizar el derecho a un medio ambiente sano, a desarrollo sustentable, así como a la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Una de las principales características de la LGCC es el establecimiento de un conjunto de metas con el fin de orientar el desempeño de México hacia una economía baja en carbono. Respecto de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GEI), en el Artículo Segundo Transitorio de la LGCC se asume una meta aspiracional de reducirlas un 30% al 2020 con respecto a la línea base; así como un 50% de reducción de emisiones al 2050 en relación con las emitidas en el año 2000. Mientras que el Artículo Tercero Transitorio de la LGCC establece el objetivo de lograr por lo menos 35% de generación de energía eléctrica a base de energías limpias para el año 2024.

1.1.6.Ley de la Industria Eléctrica (LIE)

La LIE, publicada el 11 de agosto de 2014 en el DOF, reglamenta parte de los cambios derivados de la Reforma Constitucional en materia energética de 2013. Con esta Ley se modifica el régimen del sector eléctrico para transitar a un nuevo modelo basado en la libre competencia en las actividades de generación y comercialización, con lo que se busca ofrecer a la ciudadanía servicios energéticos de manera más eficiente.

En este nuevo modelo del sector eléctrico el Estado conservó las funciones de planeación, regulación, control, transmisión y distribución, lo cual permitirá lograr un mercado competitivo y eficiente. Así, la LIE, en su artículo cuarto transitorio, mandata la estricta separación de las actividades de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el artículo 6 establece a la CRE como instancia encargada de la regulación y vigilancia, mientras que el artículo 107 establece al CENACE como el encargado del control operativo del SEN.

La inclusión de los Certificados de Energías Limpias (CELs), como un instrumento para promover nuevas inversiones en energías limpias y que permitan transformar en obligaciones individuales las metas nacionales de generación limpia de electricidad, es fundamental para la transición energética. Para ello, la LIE establece en sus artículos 121 y 122 que la SENER emitirá las obligaciones para adquirir CEL, los cuales estarán en función de la proporción de energía eléctrica consumida. El artículo 125 de la LIE estableció la creación de un mercado de CELs, en el cual se negociarán los excedentes o faltantes de Certificados por parte de los sujetos obligados.

En este esquema, el artículo 126 de la LIE señala a la CRE como organismo encargado de otorgar los CEL, así como el responsable de emitir la regulación para validar la titularidad y verificar el cumplimiento de las obligaciones. Para ello, la CRE deberá emitir requerimientos de medición y reporte de generación de energías limpias, así como un Registro de Certificados a fin de evitar una doble contabilización.

Por su parte, la LIE establece que el CENACE deberá operar el Mercado Eléctrico Mayorista y determinará la asignación y el despacho de las Centrales Eléctricas, de la Demanda Controlable y de los programas de importación y exportación, a fin de satisfacer la demanda de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional. Además, recibirá las ofertas y calculará los precios de energía eléctrica y facturará, procesará o cobrará los pagos que correspondan a los integrantes de la industria eléctrica.

1.1.7.Ley de la Comisión Federal de Electricidad

La Ley de la Comisión Federal de Electricidad es Reglamentaria del artículo 25, párrafo cuarto, de la Constitución y del Transitorio Vigésimo del Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de Energía, publicado en el DOF⁸ el 20 de diciembre de 2013, es de interés público y tiene por objeto regular la organización, administración, funcionamiento, operación, control, evaluación y rendición de cuentas de la empresa productiva del Estado. Con ello CFE transita a un esquema de gobierno corporativo que permite la generación de valor económico y rentabilidad para el Estado.

En 2015 hubo una transformación muy importante en la CFE, el 16 de febrero se publicó en el DOF la declaratoria de la Secretaría de Energía donde se refiere al Décimo Cuarto Transitorio de la Ley de la Comisión Federal de Electricidad, para efectos de la entrada en vigor del régimen especial previsto para la empresa en la Ley que regula en materia de empresas productivas subsidiarias y empresas filiales; remuneraciones; adquisiciones; arrendamientos, servicios y obras; bienes; responsabilidades; dividendo estatal; presupuesto, y deuda.

El 11 de enero de 2016, se publicó en el DOF como será la estructura y separación que la CFE deberá desarrollar con la finalidad de fomentar la operación eficiente del sector eléctrico, la CFE deberá crear el número de empresas de generación que defina la SENER en los acuerdos de asignación de activos correspondientes.

⁸ Para ver mayor detalle, véase http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LCFE_110814.pdf

1.1.8.Ley de Transición Energética

Como primer paso hacia la definición de un proceso específico de transición energética en México, el 20 de diciembre de 2013 se publicó en el DOF el Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución, en materia de energía, en cuyo artículo décimo octavo transitorio se estableció que: “El Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría del ramo en materia de Energía y en un plazo no mayor a trescientos sesenta y cinco días naturales contados a partir de la entrada en vigor del presente Decreto, deberá incluir en el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE), una Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios”. Dicha Estrategia fue elaborada por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y publicada por la SENER el 19 de diciembre de 2014 en el DOF.

Bajo este mandato, el 24 de diciembre de 2015 se publicó en el DOF la LTE con lo que se definen las bases legales para impulsar una transformación hacia un modelo energético y económico sustentable en el largo plazo, estableciendo metas específicas de generación de energía limpia para los años 2018, 2021 y 2024.

La LTE en su artículo 3° define como instrumentos de planeación a la Estrategia, al Programa Especial de la Transición Energética (PETE) y al PRONASE mismos que se convierten en políticas obligatorias en materia de energías limpias y eficiencia energética.

En particular, se destaca el diseño de la Estrategia como el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo en materia de Energías Limpias, aprovechamiento sustentable de la energía, mejora en la productividad energética y reducción económicamente viable de las emisiones contaminantes. Para ello, este instrumento debe establecer metas de energías limpias y eficiencia energética, así como su respectiva hoja de ruta para la implementación de dichas metas.

1.1.9.Ley de Energía Geotérmica

La Ley de Energía Geotérmica se publicó junto con la LIE, y tiene como propósito regular la exploración y explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo. De esta manera, se establecen las reglas para otorgar permisos de exploración, así como concesiones de explotación.

1.1.10. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos fue promulgada el 1 de febrero de 2008, con el objeto de promover la producción, comercialización y uso de los bioenergéticos a fin de contribuir al desarrollo sustentable y la diversificación energética. En específico busca promover la producción de insumos para bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país de conformidad con lo establecido en el artículo 178 y 179 de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable.

1.2. Instrumentos para la promoción de Energías Renovables en la Planeación Energética

Para llevar a cabo la transición energética se requiere de un conjunto de instrumentos de política nacional en materia de obligaciones de energías renovables y aprovechamiento sustentable de la energía, a mediano y largo plazos. Esto con la finalidad de fomentar una mayor participación de las energías renovables en la planeación del sector, diversificando la matriz energética y reducir, bajo criterios de viabilidad económica, la dependencia del país de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía.

Se requiere de un paquete de acciones, estrategias, programas, lineamientos y normas que permitan un sector energético basado en tecnologías limpias, energéticamente eficientes y que promueve la productividad, el desarrollo sustentable y la equidad social en el País (véase Figura 1.2).

FIGURA 1. 2. MECANISMOS Y POLÍTICAS DE FOMENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Planes	Estrategias	Programas	Lineamientos y Normas
Plan Nacional de Desarrollo	- Estrategia Nacional de Cambio Climático - Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios	- Programa Sectorial de Energía - Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (2014-2018) - Programa Especial de la Transición Energética - Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018 - Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional	- Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de CELs y los requisitos para su adquisición - Establecimiento de criterios normativos de Energías Limpias, Eficiencia Energética, Cogeneración Eficiente, Sistemas de generación limpia distribuida, Emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero - Bases del mercado Eléctrico - Acuerdos voluntarios para reducir la intensidad energética en sectores productivos con consumos significativos

Fuente: SENER.

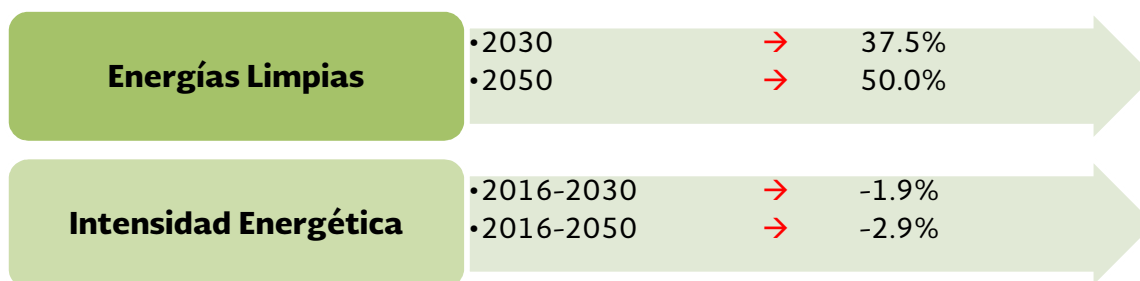
1.2.1. Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios

Para llevar a cabo el proceso de transición energética y dar cumplimiento a los objetivos antes mencionados, la LTE se apoya de estrategias, programas, medidas y políticas públicas que permitan lograr el incremento de las energías limpias y alcanzar las metas establecidas. En particular, la Estrategia funge como un instrumento de planeación de la política nacional de energía en materia de energías limpias y eficiencia energética, que estará sujeta a un proceso de mejora continua que incluya la evaluación de sus resultados parciales, la identificación de barreras para el logro de sus objetivos, la identificación de otras oportunidades de mejora y la adopción de medidas correctivas en el caso de que algunos indicadores de cumplimiento no alcancen los resultados comprometidos.

La Estrategia fue publicada el 2 de diciembre de 2016 en el DOF y establece metas a fin de que el consumo de energía eléctrica se satisfaga mediante un portafolio de alternativas que incluyan a la Eficiencia Energética y una proporción creciente de generación con Energías Limpias, en condiciones de viabilidad económica. A través de las Metas de Energías Limpias y las Metas de Eficiencia Energética, la SENER promoverá que la generación eléctrica proveniente de fuentes de energía limpias alcance los niveles establecidos en la LGCC para la Industria Eléctrica.

La Estrategia contiene un componente de largo plazo para un periodo de 30 años que define los escenarios propuestos para cumplir las Metas de Energías Limpias y la Meta de Eficiencia Energética. Incluye un componente de planeación de mediano plazo para un período de 15 años que debe actualizarse cada tres años.

FIGURA 1. 3. METAS ESTABLECIDAS EN LA ESTRATEGIA



Fuente: SENER.

1.2.2. Estrategia Nacional de Cambio Climático

Es un instrumento de planeación que define la visión de largo plazo que rige y orienta la política nacional con una ruta a seguir, establece prioridades nacionales de atención y define criterios para identificar las prioridades regionales. Plantea que el país crecerá de manera sostenible y promoverá el manejo sustentable y equitativo de sus recursos naturales, así como el uso de energías limpias y renovables que le permitan un desarrollo con bajas emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.

La LGCC, mandata al Gobierno Federal la elaboración de esta Estrategia para cumplir con los objetivos de mitigación de reducir un 30% de emisiones respecto a la línea base en 2020 y 50% en 2050 en relación con las emisiones del año 2000, requiere transformaciones estructurales en el modelo de desarrollo del país.

1.2.3. Programa Sectorial de Energía 2013-2018

El Programa Sectorial de Energía (PROSENER) 2013-2018, fue publicado el 13 de diciembre de 2013 en el DOF. Contiene los objetivos, prioridades y políticas que regirán el desempeño de las actividades del sector energético del país. Contiene estimaciones de recursos y determinaciones relativas a diversos instrumentos y responsables de su ejecución.

Dentro de los múltiples objetivos del PROSENER, se encuentra el ampliar la utilización de fuentes de energías limpias y renovables, promoviendo la eficiencia energética y la responsabilidad social y ambiental.

1.2.4. Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018

El PRONASE se desarrolla en el marco de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía en cumplimiento con lo establecido en su capítulo segundo. Establece las estrategias, objetivos, acciones y metas que permitirán alcanzar el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo final.

Para promover y ejecutar las políticas focalizadas al uso eficiente de la energía del país, este programa considera seis elementos sustantivos:

FIGURA 1. 4. ELEMENTOS SUSTANTIVOS DEL PRONASE



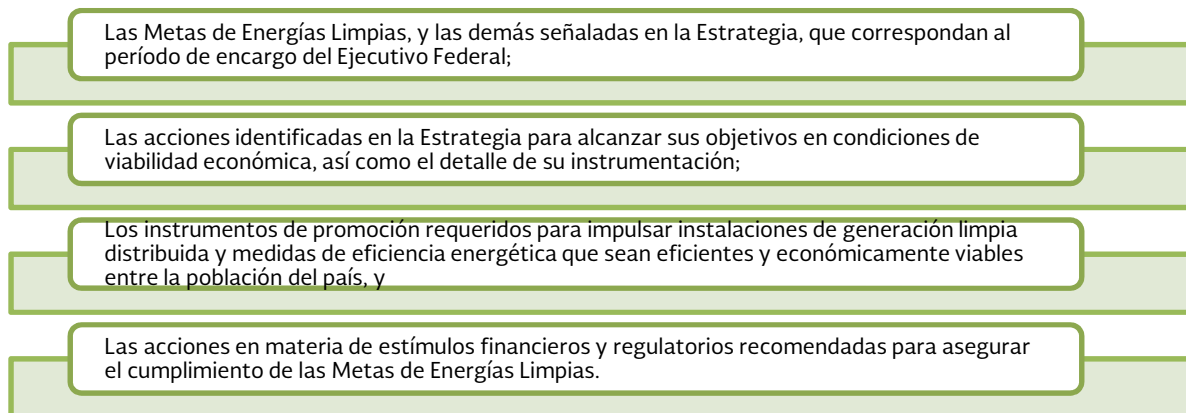
Fuente: SENER.

1.2.5. Programa Especial de la Transición Energética (PETE) 2016-2018

El PETE, emana de la LTE que estipula que corresponde a la SENER la elaboración de dicho programa como un instrumento de planeación de política nacional de energía en materia de Energías Limpias. Su objetivo es instrumentar las acciones establecidas en la propia Estrategia para la Administración Pública Federal, asegurando su viabilidad económica.

El Programa se instrumentará cada año y deberá prestar especial atención en lo que se refiere a la oportuna extensión de la red de transmisión hacia las zonas con alto potencial de Energías Limpias y la modernización de la misma para permitir la penetración de proporciones crecientes de Energías Limpias, todo ello bajo condiciones de sustentabilidad económica. El Programa deberá contar con los siguientes elementos:

FIGURA 1. 5. ELEMENTOS DEL PETE



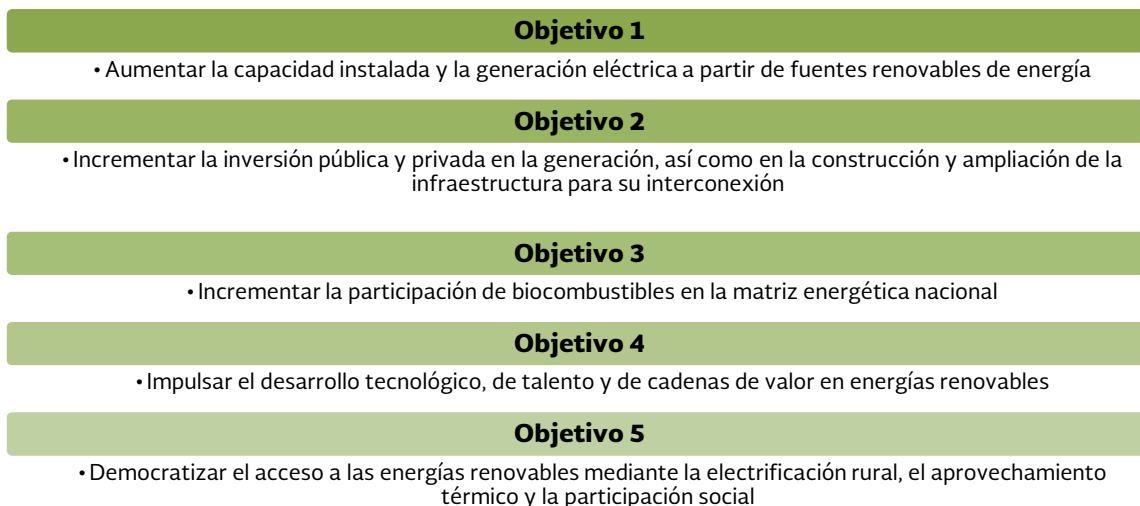
Fuente: SENER.

1.2.6. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018

El Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables (PEAER), emana del cumplimiento al Art. 11 de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Bajo el seno del Consejo Consultivo para la Energías Renovables se elaboró este programa y fue publicado el 28 de abril de 2014, y cuya vigencia quedó abrogada por virtud de la publicación de la Ley de Transición Energética, que mandata la elaboración de un nuevo programa: el PETE, el donde el primero en expedirse debe retomar lo conducente del PEAER.

Este documento establece las metas de participación que México asume para el 2018 en materia de Energías Renovables en la generación eléctrica y su contexto, a través de 5 objetivos, 24 estrategias y 114 líneas de acción (véase Figura 1.5).

FIGURA 1. 6. OBJETIVOS DEL PEAER

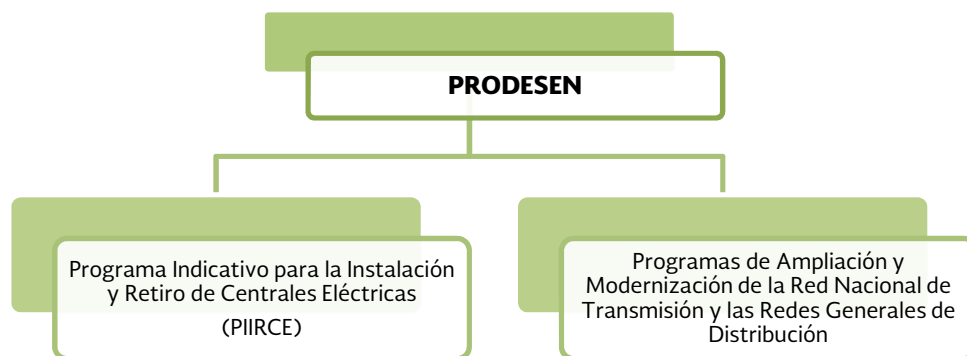


Fuente: SENER

1.2.7. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional

Por mandato del Art. 25 de Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Planeación del SEN, es un área estratégica. Para darle cumplimiento a esta disposición y al Art. 14 de la Ley de la Industria Eléctrica, la SENER emite el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN), que contiene la planeación del SEN resultado de la coordinación de dos programas clave para el desarrollo del Sector Eléctrico (véase Figura 1.6).

FIGURA 1. 7. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL PRODESEN



Fuente: SENER.

Dentro de los principales objetivos de este programa destacan:

- Garantizar la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del SEN,
- Fomentar la diversificación de la matriz de generación eléctrica, así como la seguridad energética nacional.
- Promover la instalación de los recursos suficientes para satisfacer la demanda en el SEN y cumplir con los objetivos de energías limpias.
- Prever la infraestructura necesaria para asegurar la confiabilidad del SEN
- Incentivar una expansión eficiente de la generación, considerando los criterios de calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad de la red, que minimice los costos de prestación del servicio, reduciendo los costos de congestión.

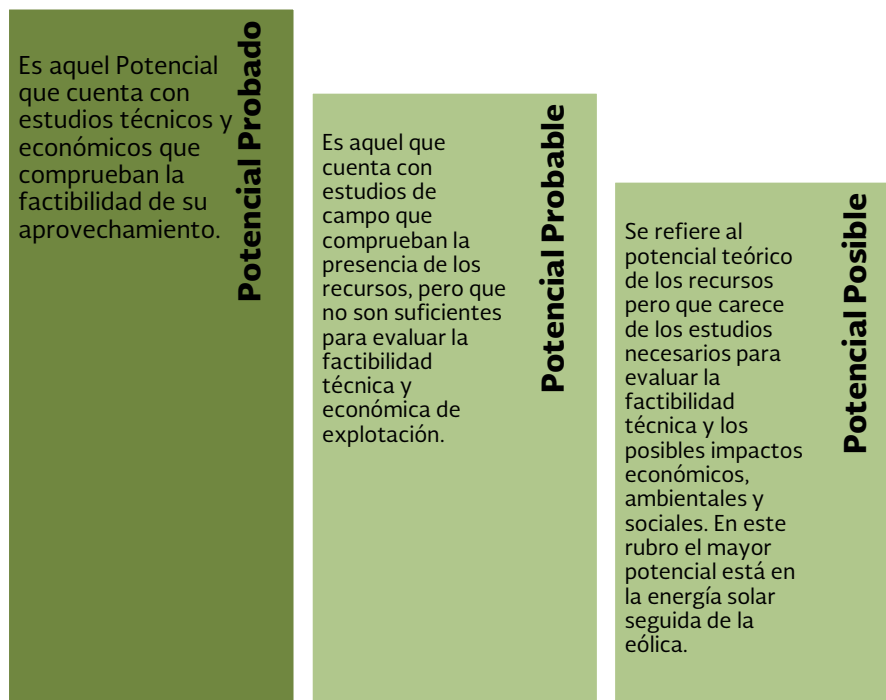
1.3. Inventario Nacional de las Energías Limpias (INEL)

Ante el compromiso de aprovechar al máximo el potencial con el que cuenta México en materia de energías renovables, surgen dos instrumentos clave para la toma de decisiones en nuevas inversiones, que produzcan energía limpia para diversificar la matriz de generación eléctrica y reducir con ello, la dependencia a los combustibles fósiles. Estos instrumentos son el Inventario Nacional de las Energías Limpias⁹ (INEL) antes llamado INERE, y el Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL).

⁹ La LTE en su Art. 14 Fracción X, establece que la SENER debe coordinar la elaboración y actualización del INEL. Cabe mencionar que el acrónimo se mantendrá como INERE, en lugar de INEL, para facilitar su reconocimiento por parte de la población.

El INEL es un sistema de información geográfica, que brinda información sobre el potencial de los recursos renovables de energía en México. El inventario incluye el aprovechamiento presente de estos recursos para la generación de electricidad y el atlas de los recursos renovables que pueden ser utilizados para estos propósitos, con distinciones entre recursos probados, probables y posibles (Véase Figura 1.6).

FIGURA 1. 8. TIPOS DE POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS LIMPIAS



Fuente: SENER.

El INEL¹⁰, contiene diferentes capas de información como son el potencial eólico, solar, de biomasa, oceánico, así como las áreas de exclusión a considerar en la identificación de un sitio para desarrollar un proyecto de energías limpias.

1.4. Atlas de Zonas con Alto Potencial en Energías Limpias

La LTE, establece la publicación anual de un Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL) que deberá contener las zonas del país que tengan un alto potencial de Energías Limpias; está armonizada con la LIE, y permitirá localizar con mayor precisión los lugares para desarrollar inversiones.

El 30 de septiembre de 2016, se presentaron los avances en la elaboración del AZEL. Este Atlas es una herramienta muy importante para las instituciones y para los desarrolladores interesados en invertir en proyectos de energías limpias. Sus objetivos son: servir como un instrumento de apoyo a los inversionistas en la planificación de proyectos de generación de energía limpia y servir como insumo para la elaboración de planes indicativos de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y de las Redes Generales de Distribución.

El AZEL contempla como información base a las energías solar, eólica, geotérmica y biomasa. El despliegue de la información considera tecnologías tipo que permiten transformar el recurso energético en parámetros objetivo. Se estima un potencial de capacidad instalable y su producción de energía asociada. Es decir, para

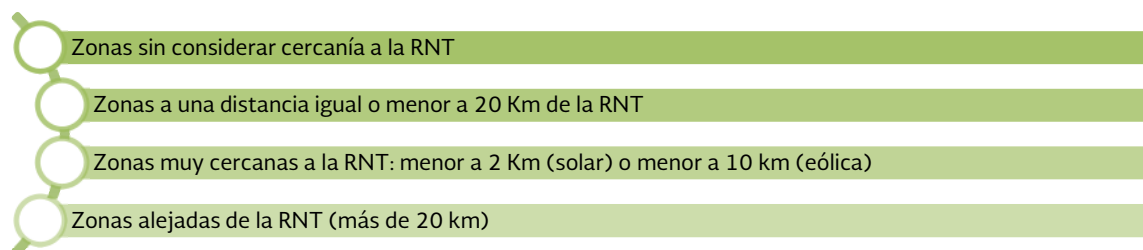
¹⁰ <http://inere.energia.gob.mx/>

solar se contempla fotovoltaica (fijo y seguimiento en un eje), para eólica mediante generador axial, para geotérmica el ciclo binario y el ciclo unitario y para biomasa se analiza el motogenerador (Biogás) y el ciclo rankine para combustión directa.

Un aspecto muy importante es que el AZEL permite analizar las zonas calificadas de alto potencial, que están definidas como zonas alejadas de la red y en las cuales existe una gran densidad de potencial de energía solar y eólica, lo que servirá en la planeación de las Redes Generales de Transmisión. Para la energía eólica y solar, se supone que el 25% y el 3.5% de la superficie del área respectivamente, puede ser aprovechable.

La evaluación del potencial probable, toma en consideración factores técnicos, como la disponibilidad del recurso, temperatura, latitud, altitud, entre otros, así como restricciones territoriales relacionadas con el uso del suelo, y puede contar con estudios directos de campo, pero no cuenta con suficientes estudios que comprueben su factibilidad técnica y económica. De las zonas identificadas se asume que solo una fracción del territorio es aprovechable, por lo tanto se asume un factor de utilización de un 25% del área disponibles para la energía eólica, mientras que para la solar es de un 3.5%. La herramienta considera cuatro escenarios descritos a continuación:

FIGURA 1. 9. TIPOS DE ESCENARIOS DEL AZEL



Fuente: SENER.

Los siguientes pasos considerados son: evaluar otras fuentes de energía limpia como la hidroeléctrica, oleaje, cogeneración eficiente y captura, uso y almacenamiento de CO₂ (CCUS, por sus siglas en inglés), integrar otras variables como capacidad de la red (inclusión de nivel de congestión por nodo), futuras redes de transmisión/distribución, entre otras. Incluir costos de generación eléctrica por tecnología por nodo/región. Incluir aspectos relevantes de carácter político, social y/o medioambiental, así como económico o de incentivos prevalecientes a nivel local. Excluir polígonos que ya tienen producción solar y eólica, zonas militares y marinas, entre otras.

En relación a las zonas calificadas: Identificar zonas prioritarias o de exclusión de gobiernos locales y estatales; identificar zonas de interés con desarrolladores, SENER y CENACE; obtener curvas de oferta por área y estimados generales de costo de producción de energía limpia por zona de interés; identificar planes de expansión de la RNT y apoyar en la definición de las bases para zonas, tecnologías y capacidades a licitar.

DIAGNÓSTICO HISTÓRICO Y PROSPECTIVO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

La importancia del impulso a las energías renovables y la eficiencia energética no sólo estriba en reducir la dependencia en la utilización de los combustibles fósiles; también se han creado nuevas oportunidades económicas y se ha desarrollado un mercado energético totalmente diversificado y más amigable con el medio ambiente.

Durante la década pasada, y particularmente en años recientes, han sido posibles avances en tecnologías de energía renovable, incrementos en la capacidad de generación a nivel mundial, así como rápidas reducciones de costos gracias al apoyo brindado por las políticas económicas, mismas que han atraído una cantidad significativa de inversiones e impulsado la baja de costos, por medio de economías de escala.

En el presente capítulo se mostrará el comportamiento que ha presentado cada una de las energías renovables y su escenario prospectivo a 15 años. Esto con la finalidad de mostrar el amplio panorama que se ha abierto en este tema y que son sin dudar, el futuro de la energía mundial.

Es importante mencionar, que el ejercicio de planeación utilizado para la elaboración de este documento (PRODESEN 2016-2030) *no contempla los resultados obtenidos en la segunda subasta eléctrica.*

2.1. Contexto Internacional de las Energías Renovables

2015 fue un año trascendental para el desarrollo de las energías renovables a nivel mundial, en muchos países se ha dado un sustancial incremento de la capacidad instalada con fuentes renovables, derivado del aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables.

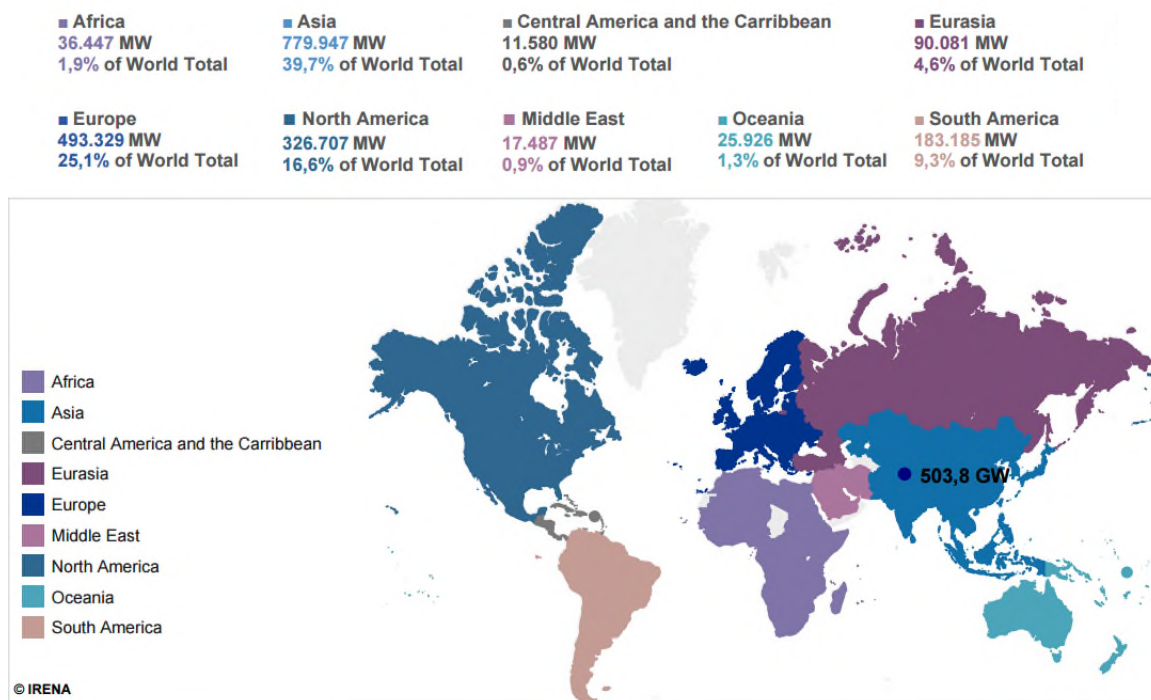
Hoy en día, gracias a las políticas aplicadas en las economías en desarrollo, se ha da acceso a financiamientos que permitan la incorporación de un sistema energético totalmente modernizado, eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Durante la 21ª. Conferencia de las Partes (COP 21) en París, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), 195 países acordaron limitar el calentamiento global por debajo de los dos grados centígrados. Para ello, se requiere instrumentos precisos como: acelerar del uso de las energías renovables e incrementar los mecanismos de eficiencia energética.

Según cifras de *International Renewable Energy Agency* (IRENA, por sus siglas en ingles), a nivel mundial la capacidad instalada con energías renovables en 2015 fue de 503.8 GW¹¹. Las regiones con mayor participación de energías renovables son Asia con el 39.7% y Europa con 25.1% del total mundial, mientras que la región con menor participación es Centroamérica y el Caribe con 0.6% (véase figura 2.1).

Por tipo de tecnología, la energía hidráulica concentro el 61.5% del total de capacidad mundial, seguido de la energía eólica con 21.2%, energía solar con 11.4%, 5.2% bioenergía y el restante 0.7% se atribuye a tecnologías con energía geotérmica y marina.

¹¹ <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=19#>

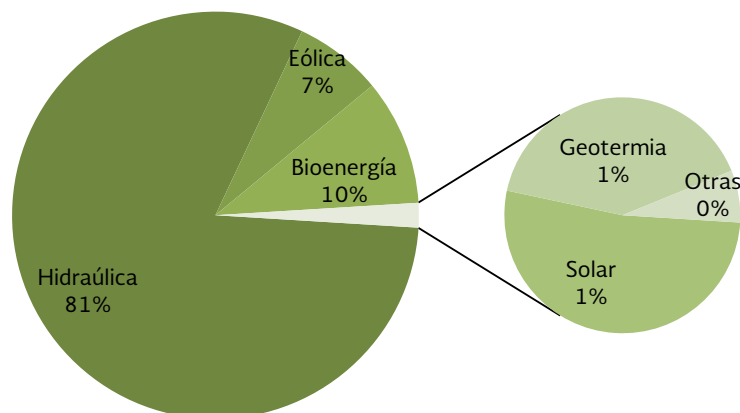
FIGURA 2. 1. PANORAMA GLOBAL DE LA CAPACIDAD DE ENERGÍA RENOVABLE Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD, 2015
(MW, Porcentaje)



Fuente: IRENA.

En América Latina y el Caribe, gracias a la diversidad energética con la que cuenta, existe uno de los mercados de energía renovables más dinámicos del mundo. Al cierre del 2015, la capacidad de generación por energías renovables fue 212.4 GW¹² de la cual, la energía hidráulica representó la mayor participación del total regional con una capacidad instalada de 172 GW proveniente de grandes plantas mayores a 10 MW (véase figura 2.3).

FIGURA 2. 2. CAPACIDAD INSTALADA EN LATINOAMÉRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES, 2015
(GW)



Fuente: Renewables in Latin American and the Caribbean, IRENA.

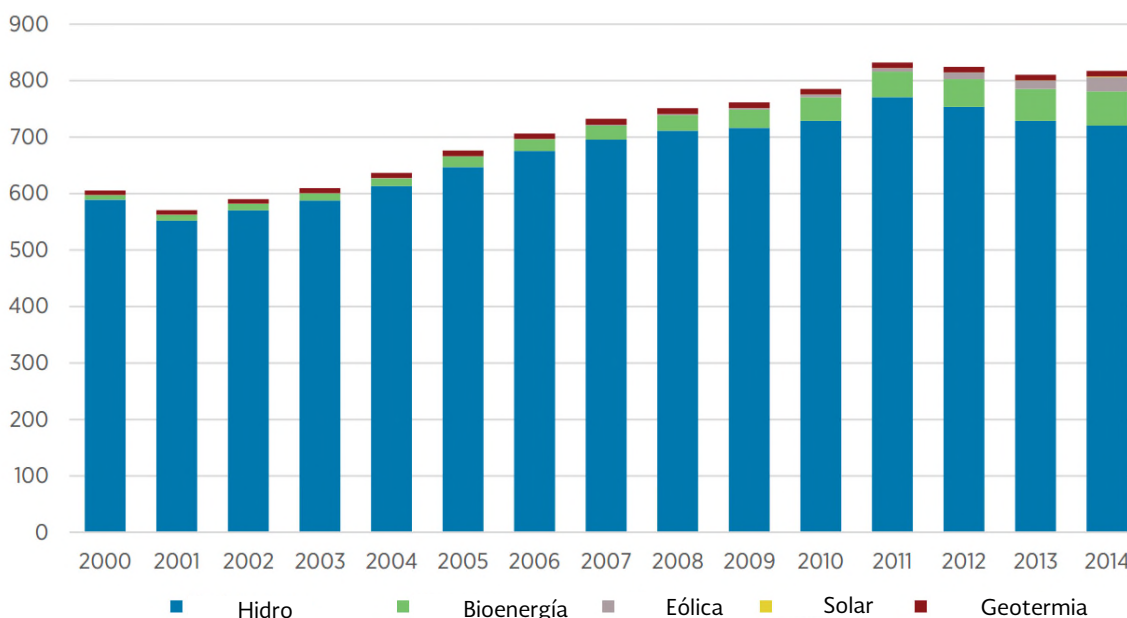
¹² http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/LAC_stats_highlights_2016.pdf

La generación de energía eléctrica con energías renovables en esta región en 2014 fue de 817 TWh, siendo la energía hidroeléctrica la que concentró la mayor parte con 720 TWh, seguido de la bioenergía con 61 TWh proveniente en su mayoría de bagazo y otras industrias de procesamiento forestal.

La energía eólica representó 25 TWh de generación de electricidad, seguida de energía geotérmica y solar con 10 TWh y 1.5 TWh respectivamente.

Entre el año 2000 al 2014, la diversidad de energías renovables utilizadas para generar electricidad han aumentado significativamente, como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 2. 3. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN LATINOAMÉRICA, 2000-2014
(TWh)



Fuente: Renewables in Latin American and the Caribbean, IRENA

Como se observa, la energía hidroeléctrica juega un papel relevante dentro de las energías renovables en varios países latinoamericanos lo que permite aumentar el despliegue de otras tecnologías renovables intermitentes, al complementarse mejorando la eficiencia económica y la fiabilidad de los sistemas eléctricos.

2.2. Tendencias mundiales de los costos y del despliegue de las energías renovables

Las inversiones mundiales en capacidad de generación de energía renovable, comprenden 288.0 millones de USD, es decir, 70% de la inversión total en generación y más de 2.5 veces de inversión en plantas de generación que emplean combustibles fósiles en 2015. La inversión en energías renovables, ha permanecido estable desde el 2011, pero, generará un tercio más de electricidad sobre una base anualizada gracias al progreso tecnológico ya la reducción de costos unitarios.

En 2015, el crecimiento global de la capacidad de electricidad renovable alcanzó un récord histórico de 153 GW, gracias a las ganancias récord tanto en energía eólica terrestre (63 GW) como en energía solar fotovoltaica (49 GW).

El despliegue récord fue acompañado por continuas reducciones de costos de generación, con precios de remuneración a largo plazo que se anunciaron en niveles bajos de entre 30 y 50 USD por MWh, tanto para plantas eólicas terrestres como solares fotovoltaicas. Se espera que estos proyectos sean operativos a mediano plazo en mercados tan diversos como en América del Norte, América Latina, Medio Oriente y el norte de África. Los recientes resultados de licitación en Europa para proyectos eólicos terrestres a gran escala, indican posibles reducciones de costos del 40% al 50% para las nuevas plantas en 2021. Recientemente, una oferta danesa para un gran parque eólico, ofreció un precio récord bajo de 55 USD por MWh.

Estos precios indican una clara aceleración en las reducciones de costos, aumentando la asequibilidad y mejorando el atractivo de las energías renovables entre los responsables de las políticas y los inversionistas.

La AIE espera que los costos de generación eólica terrestre disminuyan 15% en promedio para el 2021, mientras que los costos de energía solar fotovoltaica se prevé que disminuyan en 25%. Estas tendencias se sustentan en una combinación de apoyo político sostenido, progreso tecnológico y expansión en nuevos mercados con mejores recursos renovables. Además, las condiciones de financiación mejoradas, desempeñan un papel particularmente importante, son impulsadas por el uso cada vez mayor de contratos de compra de energía a largo plazo otorgados mediante licitaciones públicas o privadas y competitivas en precios, incluidos los sistemas de subastas respaldados por el gobierno.

China, continua siendo el líder mundial en la expansión de las energías renovables y representa cerca del 40% del crecimiento. En 2021, se espera que más de un tercio de la energía solar fotovoltaica acumulada en el mundo y la capacidad eólica terrestre se ubiquen en China.

Se prevé que la capacidad de energía solar fotovoltaica de la India aumente ocho veces, apoyado con objetivos ambiciosos del gobierno y subastas competitivas, donde los precios de los contratos ya han disminuido por un factor de dos desde el 2014

La energía solar fotovoltaica junto con la eólica terrestre, representan el 75% del crecimiento global de la capacidad eléctrica renovable a medio plazo. La energía solar fotovoltaica, aporta casi el 40% de las adiciones globales, mientras que la eólica terrestre es la mayor fuente de nueva generación de electricidad renovable. En cuanto al crecimiento de la energía hidráulica, se espera que se realicen menos proyectos convencionales a gran escala en China y en Brasil, mientras que algunos proyectos se retrasan en varios países en desarrollo.

Se pronostica que la capacidad eólica marina se triplicará durante el período de pronóstico liderado por el despliegue en Europa, pero con la capacidad de China también aumentando rápidamente. Estos desarrollos se complementan con un modesto crecimiento de las tecnologías termo solares concentradas (China y Marruecos), geotérmica (Indonesia y Turquía) y oceánicas (Francia y Corea).

La proporción de energías renovables en la generación total de electricidad, aumentará de más del 23% en 2015 a casi 28% en 2021. (IEA 2016, d)

2.3. Diagnóstico de la Economía Mexicana

En las últimas décadas, México se ha posicionado como una de las economías más sólidas del mundo, pese a la fuerte desaceleración global que existe en el plano económico. En cuanto a población, desde 2005, el país presenta una tasa de crecimiento anual poblacional de 1.3%, pasando de 107.2 a 121.0 Millones de personas.

Por otro lado, el Índice de Precios al Consumidor, en los últimos 10 años se ha mantenido 4.1% en promedio anual, como resultado de la política monetaria vigente en el país y que garantiza estabilidad generalizada en el nivel de precios (véase cuadro 2.1).

CUADRO 2. 1. PRINCIPALES VARIABLES MACROECONÓMICAS DE MÉXICO, 2005-2015

(Diferentes unidades)

Variable Macroeconómica	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Tmca
Población (Mill. Personas)	107.2	108.4	109.8	111.3	112.9	114.3	115.7	117.1	118.4	119.7	121.0	1.3%
Producto Interno Bruto (M. Mill. Pesos 2008)	11,160.5	11,718.7	12,087.6	12,256.9	11,680.7	12,277.7	12,774.2	13,287.5	13,468.3	13,770.7	14,110.1	2.7%
Tipo de cambio promedio (Pesos por dólar)	10.9	10.9	10.9	11.1	13.5	12.6	12.4	13.2	12.8	13.3	15.8	3.5%
Precios al Consumidor (Porcentaje de variación promedio anual)	4.0	3.6	4.0	5.1	5.3	4.2	3.4	4.1	3.8	4.0	2.7	n.a.

Tmca: Tasa media de crecimiento anual

Fuente: SENER con información de INEGI.

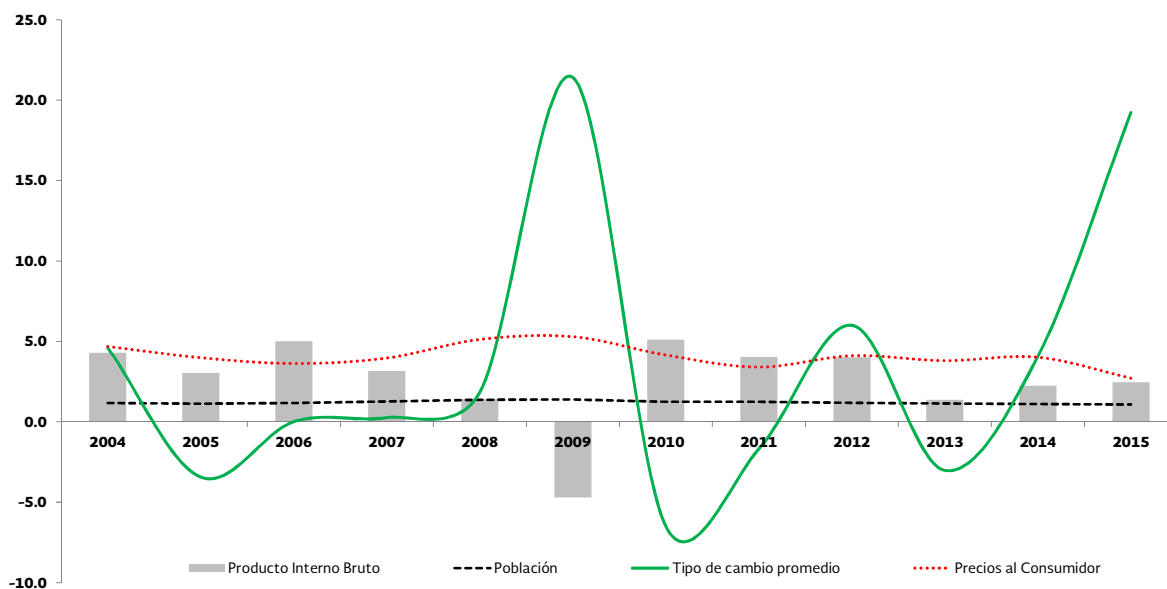
El Producto Interno Bruto (PIB) ha presentado un crecimiento de 2.7% a lo largo del período de 2005 a 2015, y que dada la desaceleración del 2009, se busca volver a dinamizar la economía con el apoyo de las reformas estructurales para lograr a mediano plazo, un crecimiento del PIB¹³ de 5.0% aproximadamente. El sector energético es estratégico para el desarrollo de la economía mexicana, dada su importancia en el funcionamiento de todas las actividades productivas del país y el impulso que a estas le dé, como el transporte de personas y mercancías, la producción de manufacturas, el funcionamiento de establecimientos comerciales, de servicios, fábricas y hogares o la electrificación en centros de enseñanza; en resumen, el desarrollo del sector energético en México está íntimamente relacionado con el crecimiento económico y social del país.

El tipo de cambio con respecto al dólar, ha presentado dos fuertes variaciones a lo largo del período de análisis, específicamente en 2009 con una variación anual de 21.4%, y en 2015 con una variación de 19.2%¹⁴. Estos incrementos tienen repercusiones en el comercio exterior de México, en la producción y en el mercado de divisas, como es el caso del valor de venta del petróleo o la compra de hidrocarburos de importación (véase figura 2.1).

¹³ Cifras publicadas en el Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2018, http://www.shcp.gob.mx/RDC/prog_plan_nacional/pronafide_2013_2018.pdf

¹⁴ Esta tendencia a la alza del tipo de cambio, es un efecto globalizado de las principales economías respecto al dólar.

FIGURA 2. 4. PRINCIPALES VARIABLES MACROECONÓMICAS DE MÉXICO, 2005-2015
(Variación anual)



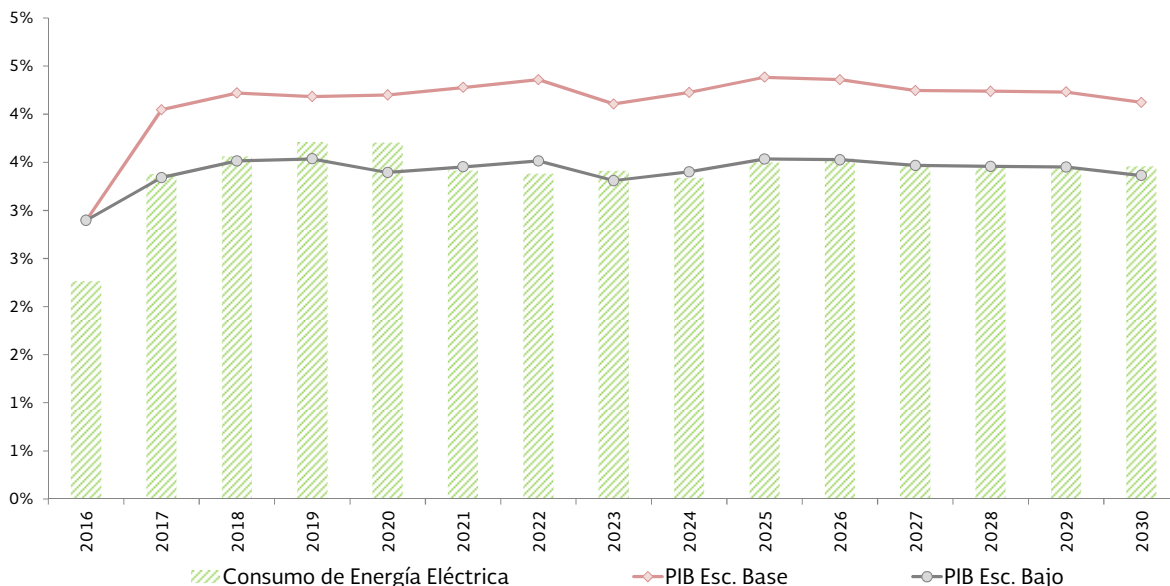
Fuente: SENER con información de INEGI.

Las Energías Renovables tienen un papel fundamental en el sector eléctrico y en el sector transporte, por ende, en el comportamiento de la economía nacional. El conocer la tendencia a 15 años de las variables macroeconómicas, permite establecer las líneas a seguir para la inclusión de estas energías de manera que se cubran las necesidades de la población de manera más sustentable, eficiente y con el menor costo posible.

Así, al considerar factores como el comportamiento de la economía nacional en las estimaciones de demanda y consumo de energía eléctrica para el mediano y largo plazo permite optimizar, dimensionar y diseñar la expansión de capacidad de generación y transmisión requerida. De igual manera, esta variable permite dimensionar las necesidades a futuro que habrá en la demanda de biocombustibles, que hoy en día está en vías de desarrollo.

Entre 2016 y 2030, se espera un crecimiento impulsado por las diferentes reformas llevadas a cabo en la presente administración, como se muestra en la figura 2.2 donde también se observa como la tendencia de entre las variables de consumo de electricidad y el PIB guardan una estrecha relación, esto es porque la energía eléctrica se emplea en la producción de bienes y servicios de la economía nacional.

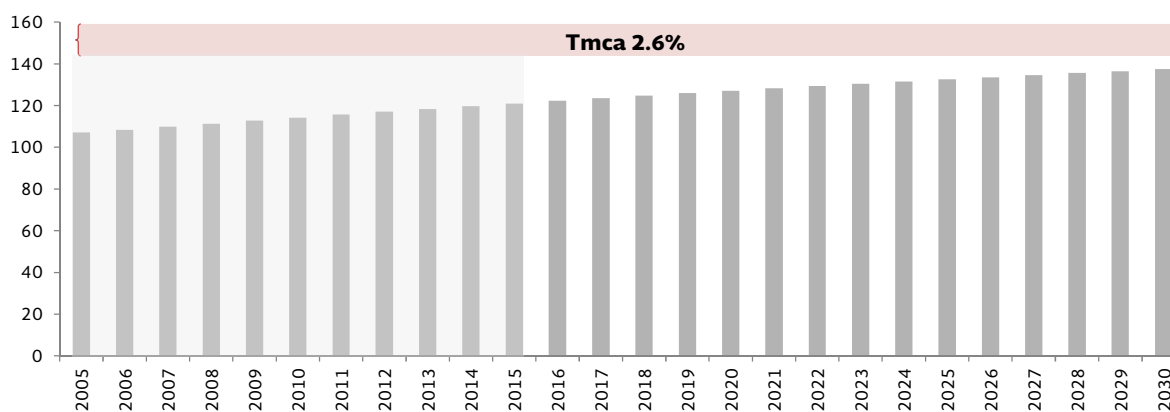
FIGURA 2. 5. TENDENCIA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL PRODUCTO INTERNO BRUTO
(Variación anual)



Fuente: SENER, con información de INEGI y CAPEM, Oxford Economics.

El Consejo Nacional de Población (CONAPO) dio a conocer que en 2015, había 121.0 millones de mexicanos y que, con una Tmca entre 2004 y 2030, de 2.6%, se espera que al final del período hayan 137.5 millones (véase Figura 2.3). Estas proyecciones inciden directamente en los pronósticos de la demanda de energía eléctrica y demanda de combustibles en el sector transporte, al considerar el nivel de usuarios para los distintos sectores.

FIGURA 2. 6. PRONÓSTICOS DE POBLACIÓN DE MÉXICO, 2005-2030
(Millones de Personas)



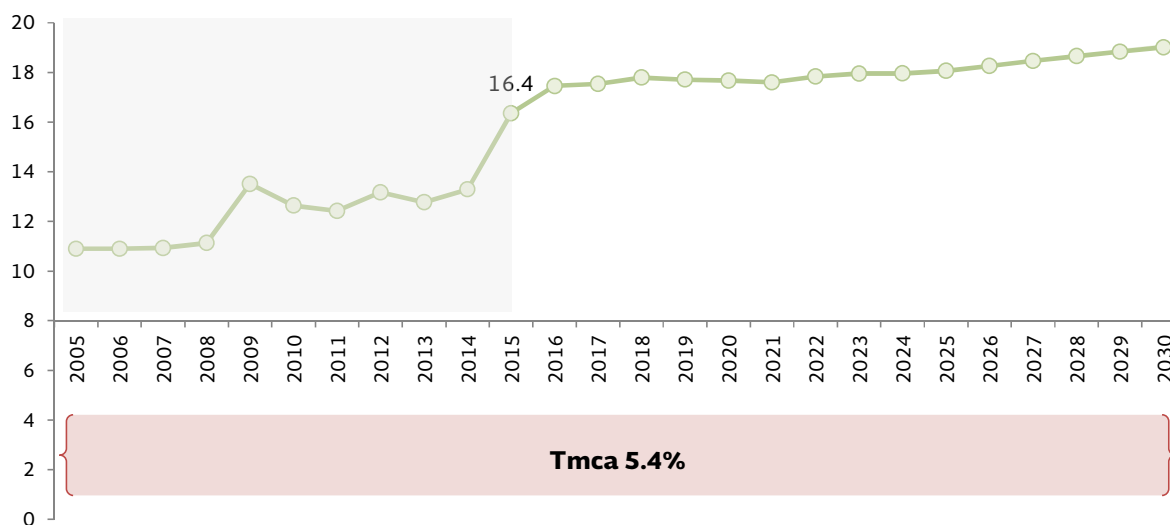
Fuente: SENER con información de CONAPO.

México está comprometido con un mayor desarrollo de las tecnologías renovables. Mediante el apoyo a diversos centros de investigación, se ha buscado impulsar mayormente a los proyectos nacionales y con ello, disminuir la fuerte dependencia a la importación de tecnología proveniente de otros países. Así, ante los pronósticos del tipo de cambio que se tiene para los próximos años, se podrían incrementar los costos de generación de las tecnologías renovables como es el caso de la Solar, dado que mucha de la tecnología existente en el país es de importación. Sin embargo, que pese a esto, la tendencia en años recientes ha sido la reducción de los costos tecnológicos y que es gran medida, impulsado por los fuertes incentivos que se han dado a nivel mundial para apoyar la inserción fuentes menos contaminantes.

En el año 2015, el comportamiento del tipo de cambio presentó altas variaciones derivadas de factores externos a la economía nacional, ubicándose en 16.4 pesos por dólar (véase figura 2.4), 23.0% mayor que el registrado en el año 2014. El comportamiento de esta variable influye de manera directa en los precios de los combustibles, principalmente en los de gas natural, dado que el principal proveedor es EUA.

FIGURA 2. 7. PRONÓSTICOS DEL TIPO DE CAMBIO

(Paridad peso-dólar 2015)



Fuente: SENER, con información de INEGI y CAPEM, Oxford Economics.

2.4. Las Energías Renovables en la Matriz Energética

La reducción en los costos, especialmente para la energía solar y eólica han permitido un considerable incremento en la participación de las energías renovables como fuentes de generación de energía limpia, aunado a esto, las políticas de apoyo para las energías renovables en México, derivadas de la Reforma Energética, han contribuido al fortalecimiento del mercado energético haciendo que las energías renovables sean altamente competitivas con los combustibles convencionales en el sector eléctrico.

Potencial de Energías Renovables

El poder identificar zonas con alto potencial de energías renovables permite a los desarrolladores e interesados, invertir en proyectos que coadyuven a la diversificación de la matriz energética.

De acuerdo al Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE), el mayor potencial probado para generación de electricidad, es decir, aquel que cuenta con estudios técnicos y económicos que comprueban la factibilidad de su aprovechamiento, se encuentra en las energías eólica y solar.

El mayor potencial probable identificado, aquel que cuenta con estudios de campo que comprueban la presencia de los recursos, pero que no son suficientes para evaluar la factibilidad técnica y económica de explotación, corresponde a los recursos geotérmicos.

El mayor potencial posible se refiere al potencial teórico de los recursos pero que carece de los estudios necesarios para evaluar la factibilidad técnica y los posibles impactos económicos, ambientales y sociales. En este rubro el mayor potencial está en la energía solar seguida de la eólica.

CUADRO 2. 2. POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS LIMPIAS EN MÉXICO¹⁵
(GWh)

Recursos	Eólica	Solar	Hidráulica	Geotérmica	Biomasa
Probado	19,805.0	16,351.0	4,796.0	2,355.0	2,396.0
Probable	-	-	23,028.0	45,207.0	391.0
Posible	87,600.0	6,500,000.0	44,180.0	52,013.0	11,485.0

Fuente: INERE.

Se han hecho estudios para evaluar el potencial probable, este toma en consideración factores técnicos, como la disponibilidad del recurso, temperatura, latitud, altitud, entre otros, así como restricciones territoriales relacionadas con el uso del suelo, y puede contar con estudios directos de campo, pero no cuenta con suficientes estudios que comprueben su factibilidad técnica y económica. De las zonas identificadas se asume que solo una fracción del territorio es aprovechable, por lo tanto se asume un factor de utilización de un 25% del área disponibles para la energía eólica, mientras que para la solar es de un 3.5%.

La herramienta considera cuatro escenarios:

1. Zonas sin considerar cercanía a RNT;
2. Zonas a una distancia igual o menor a 20 Km de la RNT;
3. Zonas muy cercanas a la RNT: menor a 2 Km (solar) o menor a 10 km (eólica) y
4. Zonas alejadas de la RNT (más de 20 km).

¹⁵ Información a Junio de 2015.

Tomando en consideración las restricciones ambientales, sociales y tecnológicas se han definidos 4 escenarios que permitirán al país aprovechar los recursos renovables y limpios en el corto, mediano y largo plazo.

El escenario 1 identifica zonas de alto potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica con base en energías limpias sin considerar la cercanía a las redes generales de transmisión. Este escenario arroja una capacidad instalable probable de 2,471,769 MW y un potencial de generación probable de 4,904,507 GWh/a.

El escenario 2 identifica zonas de alto potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica tomando en consideración una cercanía a las redes generales de transmisión menor o igual a 20 Km. Este escenario arroja una capacidad instalable probable de 1,208,020 MW y un potencial de generación de 2,635,105 GWh/a.

El escenario 3 de manera análoga al anterior identifica zonas de alto potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica tomando en consideración la cercanía con las redes generales de transmisión. Este escenario, cuyo criterio es una distancia menor o igual a 10 Km, arroja una capacidad instalable probable de 377,740 MW y un potencial de generación de 864,864 GWh/a.

El escenario 4 identifica zonas de alto potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica lejanos a las redes generales de transmisión (>20 Km). Este escenario arroja una capacidad instalable probable de 980,688 MW y un potencial de generación de 2,146,969 GWh/a (véase cuadro 2.3).

CUADRO 2. 3. ESCENARIOS DE POTENCIALES DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES
(MW, GWh)

Energía	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3		Escenario 4	
	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
Eólica	583,200.0	1,486,713.0	290,249.0	740,332.0	158,302.0	402,847.0	297,444.0	750,186.0
Solar fijo	965,373.0	1,716,274.0	537,134.0	957,726.0	127,722.0	228,485.0	395,664.0	701,229.0
Solar Seguimiento	691,925.0	1,692,453.0	379,007.0	925,270.0	89,667.0	218,658.0	287,455.0	694,568.0
Geotérmica	174.0	1,373.0	399.0	3,146.0	571.0	4,509.0	125.0	986.0
Biomasa	1,097.0	7,694.0	1,231.0	8,631.0	1,478.0	10,365.0	-	-
Total	2,471,769.0	4,904,507.0	1,208,020.0	2,635,105.0	377,740.0	864,864.0	980,688.0	2,146,969.0

Fuente: SENER.

Avances en Energías Renovables

Al cierre de 2015 la capacidad instalada de generación mediante energías renovables se incrementó 6.6% respecto al periodo 2014, llegando a los 17,140.4 MW, lo cual representó el 25.2% de la capacidad de generación total.

La mayor parte de la capacidad en operación renovable continúa dominada por la generación hidroeléctrica, que en suma con la energía eólica representan el 80% de la capacidad instalada en energías limpias.

Entre 2005 y 2015, la energía eólica ha presentado la mayor expansión en capacidad instalada con el 104.7% anual. Sin embargo, la energía hidráulica presenta la mayor concentración en la participación total de capacidad instalada con fuentes renovables, pero ha mantenido un ritmo de crecimiento de 1.7% anual, como se muestra en la figura a continuación.

FIGURA 2. 8. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA CON ENERGÍAS RENOVABLES, 2005-2015
(MW)



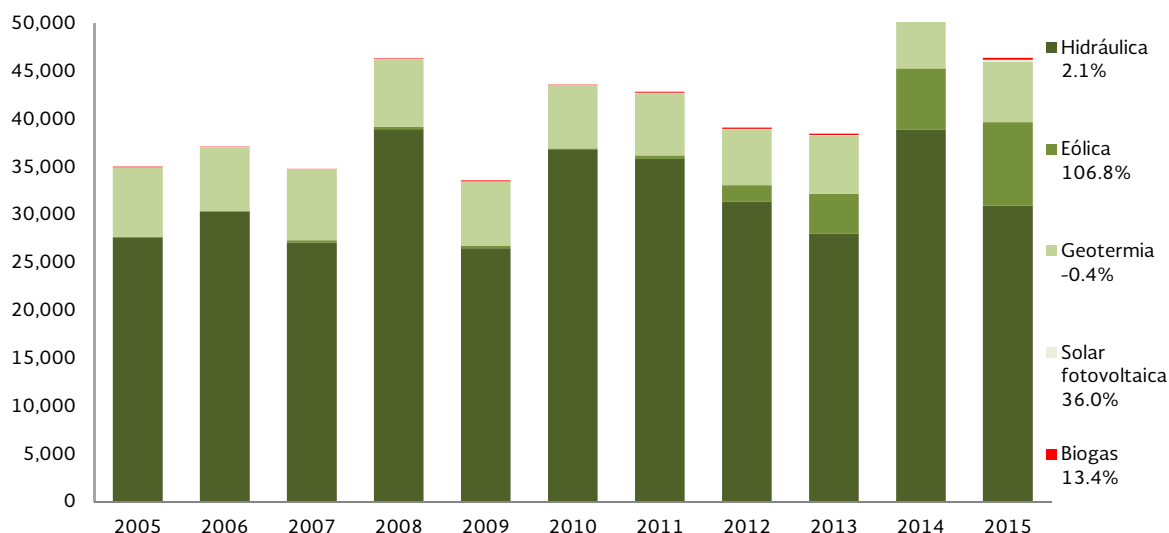
Fuente: SENER.

Durante 2015 la generación de energía eléctrica renovable representó el 15.3% (equivalente a 47,548.7 GWh), del total nacional. Es destacable que, la energía eólica presentó el mayor crecimiento en la última década con una tasa de crecimiento de 106.8%, pasando de 5.0 GWh a 8,745.1 GWh en 2015.

Por el contrario la generación de electricidad por geotermia presenta una tasa media de crecimiento anual negativa, sin embargo, ha mantenido sus niveles de generación como se muestra en la figura 2.9.

Las tecnologías que emplean energía solar, biogás y bagazo, presentan un crecimiento sostenido impulsado en su mayoría por programas de apoyo derivados de las políticas energéticas, cuyo objetivo es fomentar la inclusión de dichas tecnologías a la matriz energética.

FIGURA 2. 9. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA BRUTA POR FUENTE DE ENERGÍA UTILIZADA, 2005-2015
(GWh)



Fuente: SENER.

2.4.1. Generación Eléctrica con Energía Hidroeléctrica

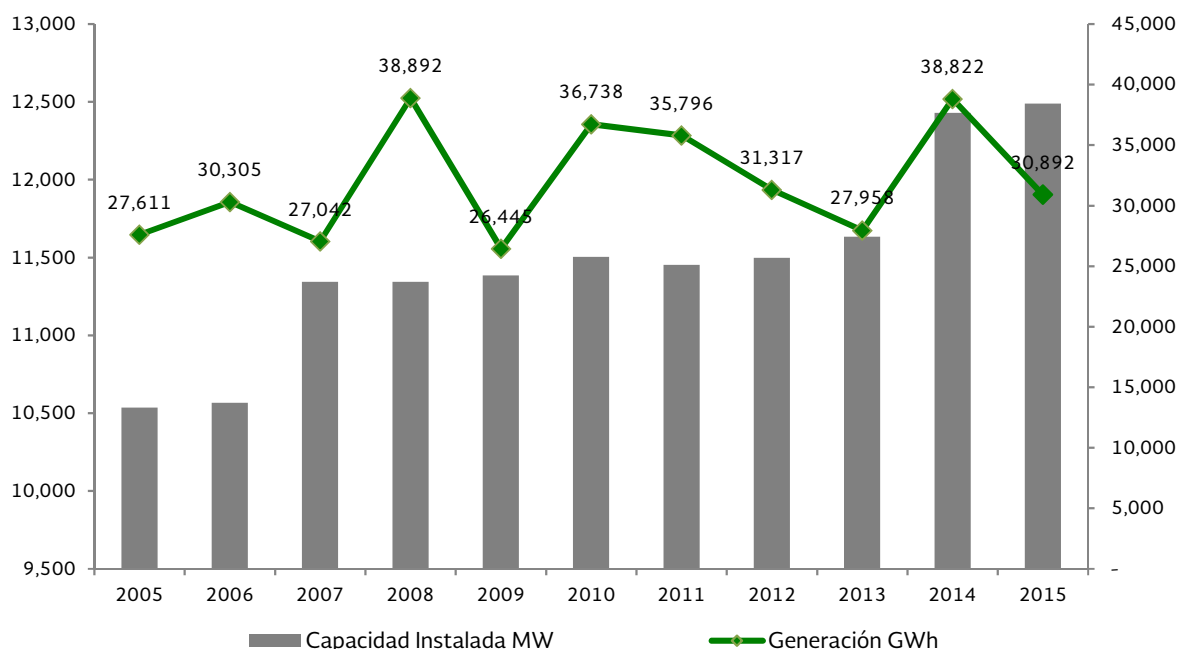
Una de las virtudes de la energía hidroeléctrica es que en su mayoría se clasifica como energía de base y puede tener un alto nivel de potencia dependiendo del embalse con el que cuente. Sin embargo hoy en día se enfrenta a un fuerte riesgo: *el cambio climático*, ya que los grandes embalses al escasear el recurso, priorizan su uso para el consumo agrícola y humano.

Debido a la creciente participación de energías renovables diversas, han hecho que las centrales hidroeléctricas busquen modernizar su tecnología y ampliar sus instalaciones para mejorar su eficiencia.

Al cierre de 2015 se reportó 97 centrales de generación hidroeléctrica con una capacidad total de 12,488.5 MW, 0.5% mayor que lo reportado en el año anterior. En 2014 se reportó el mayor incremento de capacidad de los últimos años con 796 MW mientras que en el 2015 sólo se adicionaron 59.5 MW al SEN.

Entre 2005 y 2015 la producción de electricidad proveniente de Hidroenergía creció a un ritmo de 2.1% anual. Sin embargo, las constantes sequías continuaron afectando de manera negativa a la generación de energía hidroeléctrica, reduciéndose 7,930.4 GWh entre 2014 y 2015 como se muestra en la figura 2.10.

FIGURA 2. 10. CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS, 2005-2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

El SEN cuenta con 97 centrales hidroeléctricas distribuidas en todo el territorio nacional, de las cuales el 33.0% se encuentran en el área Oriental. En esta área se encuentra una de las centrales hidroeléctricas más grandes del país “Chicoasén”, con una capacidad efectiva de 2,400.0 MW y que al cierre de 2015 generó 4,317.5 GWh. De igual manera, se encuentra la central “Malpaso”, con una capacidad de 1,080.0 MW y 3,179.4 GWh de generación de energía eléctrica. Ambas centrales se encuentran situadas en el estado de Chiapas, debido a que cuenta con una vasta fuente hídrica.

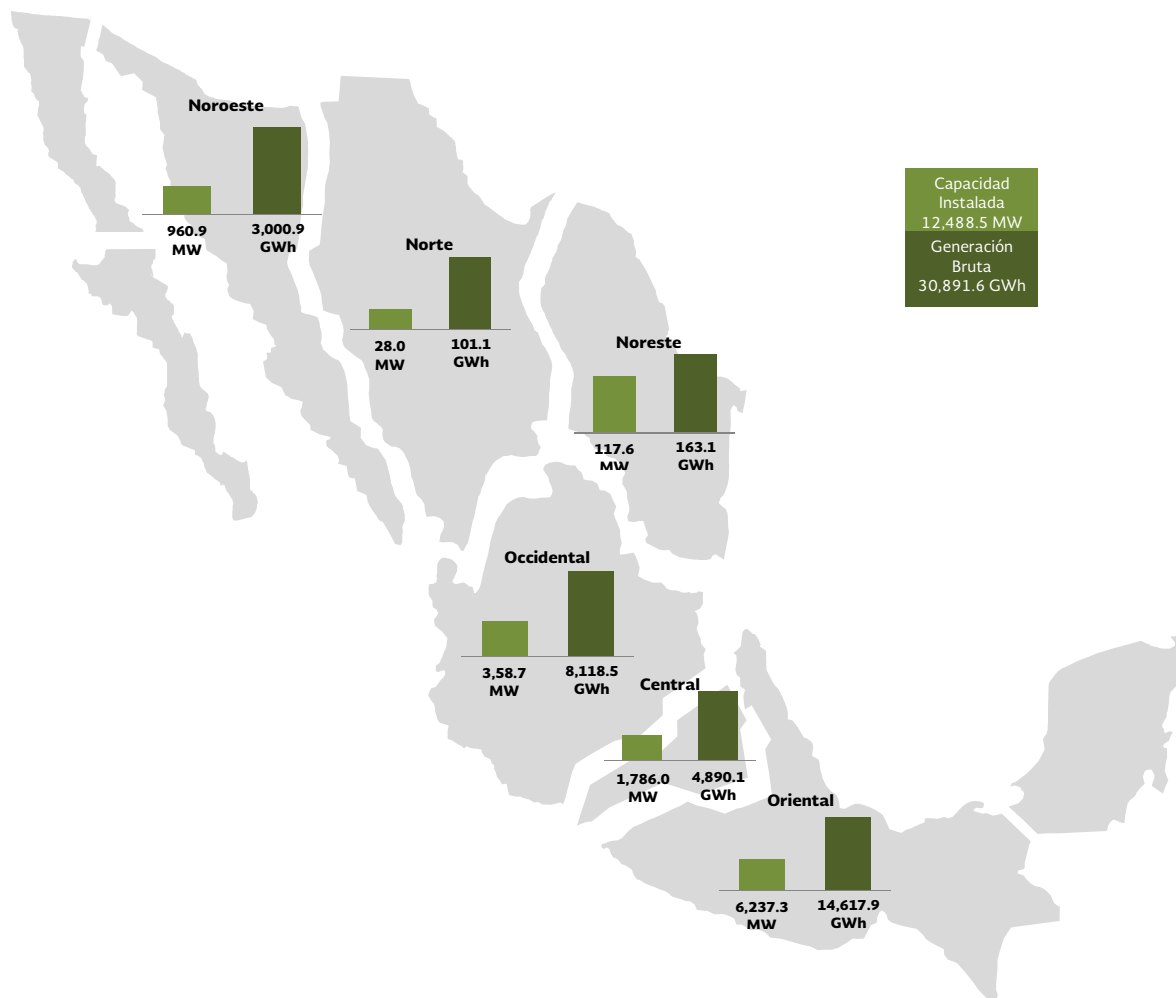
El área Occidental concentra el 27.8% de las centrales hidroeléctricas del país, correspondiente a 3,358.7 MW del total de capacidad del SEN. De las 27 centrales que tiene, las tres con mayor capacidad de esta área se encuentran en el estado de Nayarit (Aguamilpa Solidaridad, El cajón y La Yesca), que en conjunto suman 2,460.0 MW de capacidad efectiva y 4,332.0 GWh de producción de electricidad al cierre de 2015.

En el área Central se encuentra la segunda central hidroeléctrica con mayor capacidad de generación se encuentra en el estado de Guerrero, la denominada “Infiernillo”, que generó en 2015 2,627.6 GWh. Ahí mismo se ubican cinco centrales que transfirió CFE a la Generadora Fenix¹⁶ cuya generación en ese año fue de 1,005.5 GWh.

Respecto a las áreas del Norte del país, se tienen 17 centrales en las áreas Noroeste, Norte y Noreste; la mayoría se concentra en el estado de Sinaloa seguido de Sonora y San Luis Potosí. En conjunto estas centrales generaron 3,265.1 GWh al corte del 2015 (véase figura 2.11 y cuadro 2.2).

¹⁶ El 17 de noviembre de 2016, en sesión ordinaria, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) otorgó ocho permisos de generación de electricidad a Generadora Fénix -consorcio formado por el Sindicato Mexicano de Electricistas (SME) y la empresa portuguesa Mota-Engil. Durante 2016, la CRE ha autorizado un total de 27 permisos a la firma, que representan 303.7 MW.

FIGURA 2. 11. CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS POR ÁREA DE CONTROL, 2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

CUADRO 2. 4. CENTRALES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA 2015
(MW, GWh)

No.	Central	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Efectiva Total (MW)	Capacidad en contrato de interconexión ^{2/} (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma, S. A. de C. V., Planta Orizaba	VER	02-Oriental	AUT.	10.0	S/C	16.7
2	Compañía de Energía Mexicana, S. A. de C. V.	PUE	02-Oriental	AUT.	36.0	36	249.1
3	Compañía Eléctrica Carolina, S. A. de C. V.	GTO	03-Occidental	AUT.	2.5	S/C	5.0
4	Electricidad del Golfo, S. de R. L. de C. V.	VER	02-	AUT.	35.0	35	83.7

			Oriental				
5	Energía Ep, S. de R. L. de C. V.	PUE	02- Oriental	AUT.	0.4	0.4	2.1
6	Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo	MICH	03- Occidental	AUT.	4.1	4	18.2
7	Hidroeléctrica Arco Iris, S. A. de C. V.	JAL	03- Occidental	AUT.	8.4	8	33.8
8	Hidroeléctrica Cajón de Peña, S. A. de C. V.	JAL	03- Occidental	AUT.	1.2	1	6.7
9	Hidroelectricidad del Pacífico, S. A. de C. V.	JAL	03- Occidental	AUT.	9.2	8	31.3
10	Hidrorizaba II, S. A. de C. V.	VER	02- Oriental	AUT.	4.4	4	20.3
11	Hidrorizaba, S. A. de C. V.	VER	02- Oriental	AUT.	1.6	2	9.7
12	Ingenio Tamazula, S. A. de C. V., Planta Santa Cruz	JAL	03- Occidental	AUT.	0.6	S/C	1.6
13	Mexicana de Hidroelectricidad Mexhidro, S. de R. L. de C. V.	GRO	02- Oriental	AUT.	30.0	30	133.3
14	Papelera Veracruzana, S. A. de C. V.	VER	02- Oriental	AUT.	1.3	S/C	5.9
15	Primero Empresa Minera, S. A. de C. V.	DGO	04- Noroeste	AUT.	19.7	9	36.1
16	Procesamiento Energético Mexicano, S. A. de C. V.	VER	02- Oriental	AUT.	11.3	11	51.0
17	Proveedora de Electricidad de Occidente, S. A. de C. V.	JAL	03- Occidental	AUT.	19.0	15	59.6
18	Agua Prieta (Valentín Gómez Farías)	JAL	03- Occidental	CFE	240.0	240	239.1
19	Aguamilpa Solidaridad	NAY	03- Occidental	CFE	960.0	960	2,014.9
20	Angostura (Belisario Domínguez)	CHIS	02- Oriental	CFE	900.0	900	2,086.4
21	Bacurato	SIN	04- Noroeste	CFE	92.0	92	229.6
22	Bartolinas	MICH	03- Occidental	CFE	0.8	1	2.4
23	Bombaná	CHIS	02- Oriental	CFE	5.2	5	23.4
24	Boquilla	CHIH	05-Norte	CFE	25.0	25	91.0
25	Botello	MICH	03- Occidental	CFE	18.0	18	81.2
26	Cañada	HGO	01- Central	CFE	0.0	0	0.0
27	Caracol (Carlos Ramírez Ulloa)	GRO	02- Oriental	CFE	600.0	600	955.9
28	Chicoasén (Manuel Moreno Torres)	CHIS	02- Oriental	CFE	2,400.0	2,400	4,317.5
29	Chilapan	VER	02- Oriental	CFE	26.0	26	95.7
30	Cóbano	MICH	03- Occidental	CFE	60.0	60	262.8
31	Colimilla	JAL	03- Occidental	CFE	51.2	51	77.4
32	Colina	CHIH	05-Norte	CFE	3.0	3	10.2
33	Colotlpa	GRO	02- Oriental	CFE	8.0	8	34.2
34	Comedero (Raúl J. Marsal)	SIN	04- Noroeste	CFE	100.0	100	215.0
35	Cupatitzio	MICH	03- Occidental	CFE	80.0	80	459.3
36	El Cajón (Leonardo Rodríguez A.)	NAY	03- Occidental	CFE	750.0	750	1,301.6
37	El Durazno	MEX	01- Central	CFE	0.0	0	0.0
38	El Fuerte (27 de Septiembre)	SIN	04-	CFE	59.4	59	362.3

			Noroeste				
39	El Novillo (Plutarco Elías Calles)	SON	04- Noroeste	CFE	135.0	135	548.1
40	El Retiro (José Cecilio del Valle)	CHIS	02- Oriental	CFE	21.0	21	102.2
41	El Salto (Camilo Arriaga)	SLP	06- Noreste	CFE	18.0	18	94.5
42	Electroquímica	SLP	06- Noreste	CFE	1.4	1	10.2
43	Encanto	VER	02- Oriental	CFE	10.0	10	0.0
44	Falcón	TAMS	06- Noreste	CFE	31.5	32	7.0
45	Fernández Leal	MEX	01- Central	CFE	0.0	0	0.0
46	Huazuntlán	VER	02- Oriental	CFE	0.0	0	0.0
47	Huites (Luis Donaldo Colosio)	SIN	04- Noroeste	CFE	422.0	422	1,186.2
48	Humaya	SIN	04- Noroeste	CFE	90.0	90	198.6
49	Infiernillo	GRO	01- Central	CFE	1,200.0	1,200	2,627.3
50	Intermedia (Luis Marcial Rojas)	JAL	03- Occidental	CFE	5.3	5	11.4
51	Itzícuaró	MICH	03- Occidental	CFE	0.6	1	2.7
52	Ixtaczoquitlán	VER	02- Oriental	CFE	1.6	2	12.7
53	Ixtapantongo	MEX	01- Central	CFE	0.0	0	0.0
54	Juandó	HGO	01- Central	CFE	0.0	0	0.0
55	Jumatán	NAY	03- Occidental	CFE	2.2	2	13.3
56	La Amistad	COAH	06- Noreste	CFE	66.0	66	48.8
57	La Venta (Ambrosio Figueroa)	GRO	02- Oriental	CFE	0.0	0	0.0
58	La Yesca (Alfredo Elías Ayub)	NAY	03- Occidental	CFE	750.0	750	1,015.5
59	Las Rosas	QRO	03- Occidental	CFE	0.0	0	0.0
60	Malpaso	CHIS	02- Oriental	CFE	1,080.0	1,080	3,179.4
61	Mazatepec	PUE	02- Oriental	CFE	220.0	220	257.7
62	Micos	SLP	06- Noreste	CFE	0.7	1	2.6
63	Minas	VER	02- Oriental	CFE	15.0	15	88.0
64	Mocúzari	SON	04- Noroeste	CFE	9.6	10	48.5
65	Oviachic	SON	04- Noroeste	CFE	19.2	19	108.3
66	Peñitas (Ángel Albino Corzo)	CHIS	02- Oriental	CFE	420.0	420	1,636.2
67	Platanal	MICH	03- Occidental	CFE	12.6	13	43.6
68	Portezuelo I	PUE	02- Oriental	CFE	2.0	2	14.1
69	Portezuelo II	PUE	02- Oriental	CFE	2.1	2	5.8
70	Puente Grande	JAL	03- Occidental	CFE	9.0	9	35.2
71	San Pedro Porúas	MICH	03- Occidental	CFE	2.6	3	5.1

72	San Simón	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	0.0
73	Sanalona (Salvador Alvarado)	SIN	04-Noroeste	CFE	14.0	14	68.2
74	Santa Bárbara	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	47.2
75	Santa Rosa (General Manuel M. Diéguez)	JAL	03-Occidental	CFE	70.0	70	306.4
76	Schpoiná	CHIS	02-Oriental	CFE	2.2	2	7.0
77	Tamazulapan	OAX	02-Oriental	CFE	2.5	2	8.7
78	Temascal	OAX	02-Oriental	CFE	354.0	354	1,130.4
79	Temascaltepec	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	0.0
80	Tepazolco	PUE	02-Oriental	CFE	0.0	0	0.0
81	Texolo	VER	02-Oriental	CFE	1.6	2	12.4
82	Tezcapa	PUE	01-Central	CFE	0.0	0	0.0
83	Tingambato	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	24.3
84	Tirio	MICH	03-Occidental	CFE	1.1	1	2.9
85	Tlilán	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	0.0
86	Tuxpango	VER	02-Oriental	CFE	36.0	36	78.3
87	Villada	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	0.0
88	Villita (José María Morelos)	MICH	01-Central	CFE	320.0	320	1,185.9
89	Zepayautla	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	0.0
90	Zictepec	MEX	01-Central	CFE	0.0	0	0.0
91	Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama)	HGO	03-Occidental	CFE	292.0	292	2,036.7
92	Zumpimito	MICH	03-Occidental	CFE	8.4	8	50.4
93	Alameda	MEX	01-Central	GEN.	7.0	7	0.0
94	Lerma (Tepuxtepec)	MICH	01-Central	GEN.	74.0	74	296.6
95	Necaxa	PUE	01-Central	GEN.	109.0	109	380.6
96	Patla	PUE	01-Central	GEN.	37.0	37	168.0
97	Tepexic	PUE	01-Central	GEN.	39.0	39	160.3
Total					12,488.5	12,458	30,891.5

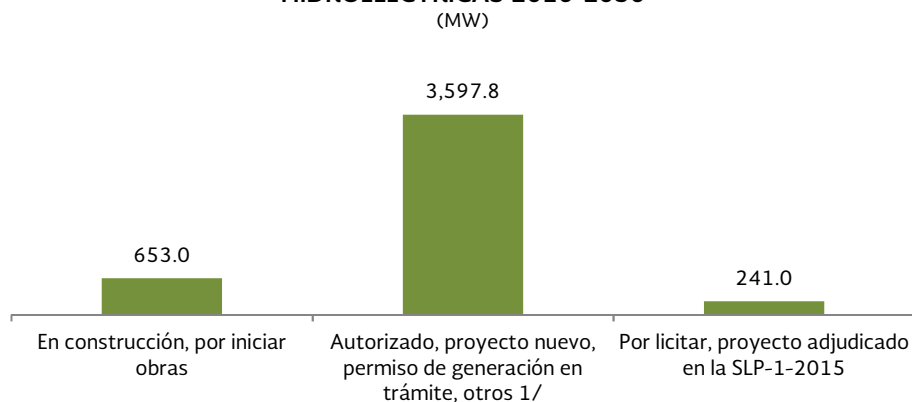
1/ AUT: Autoabastecimiento; CFE: Comisión Federal de Electricidad; GEN: Generación. 2/ Centrales con contrato de interconexión con el CENACE (S/C: sin contrato de interconexión).

Fuente: Elaborado por SENER con información de CFE, CRE y CENACE.

Para cubrir las crecientes necesidades de demanda de electricidad en ciertas regiones del país y aprovechando las condiciones geográficas con las que cuenta el territorio nacional, en la planeación del SEN se ha considerado la adición de 4,491.8 MW de capacidad de energía hidroeléctrica para el período de 2016-2030.

Por situación del proyecto, 653 MW se encuentran en construcción o por iniciar obras; 3,597.8 MW son proyectos ya autorizados, nuevos o con permisos de generación en trámite y, 241.0 MW son proyectos por licitar (véase figura 2.12).

FIGURA 2. 12. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DE PROYECTOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS 2016-2030

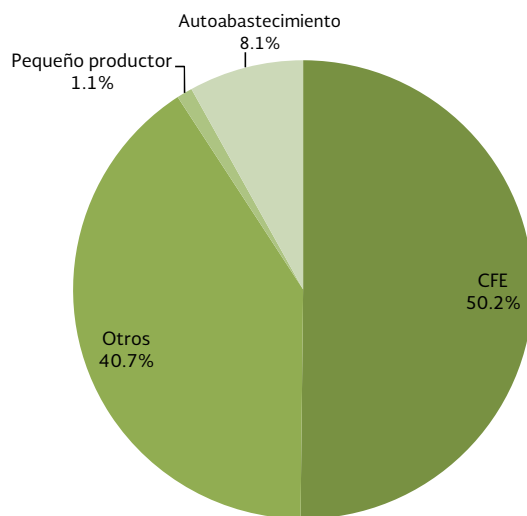


1/ Incluye aquellos proyectos de generación con estatus: Condicionado, Cancelado en PEF 2016, con avance en el proceso de interconexión ante CENACE y suspendido. En la primera Subasta Eléctrica sólo se adjudicó energía solar y eólica.
Fuente: Elaborado por SENER con información de CFE, CRE y CENACE.

Con respecto a las adiciones de capacidad por modalidad para la energía hidroeléctrica, el 50.2% corresponde a proyectos de CFE (2,253 MW); 40.7% a Proyectos con modalidad de Importación y Exportación y proyectos genéricos, clasificado como Otros.

Para las modalidades Autoabastecimiento y Pequeño Productor, se concentró el 8.1% y 1.1% respectivamente y que en conjunto suman 412.0 MW de capacidad por adicionar al sistema.

FIGURA 2. 13. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD DE TECNOLOGÍA HIDROELÉCTRICA

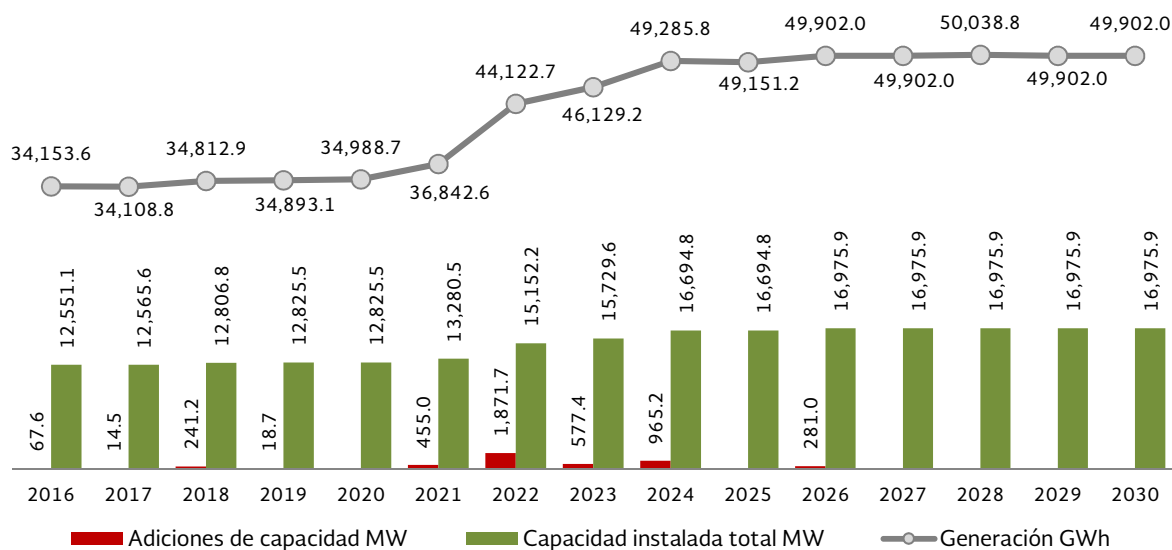


Fuente: SENER.

Así, entre 2016 y 2030 la capacidad instalada por energía hidroeléctrica pasará de 12,551.1 MW a 16,975.8 MW en 2030, siendo 2022 en el cual se adicionará la mayor cantidad de capacidad por esta fuente de energía.

Respecto a su participación en la generación de electricidad, se incrementará en 15,748.4 GWh, para ubicarse en 49,902.0 GWh al final del período de proyección como se muestra en la figura 2.14.

FIGURA 2. 14. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES, CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS, 2016-2030
(MW, GWh)



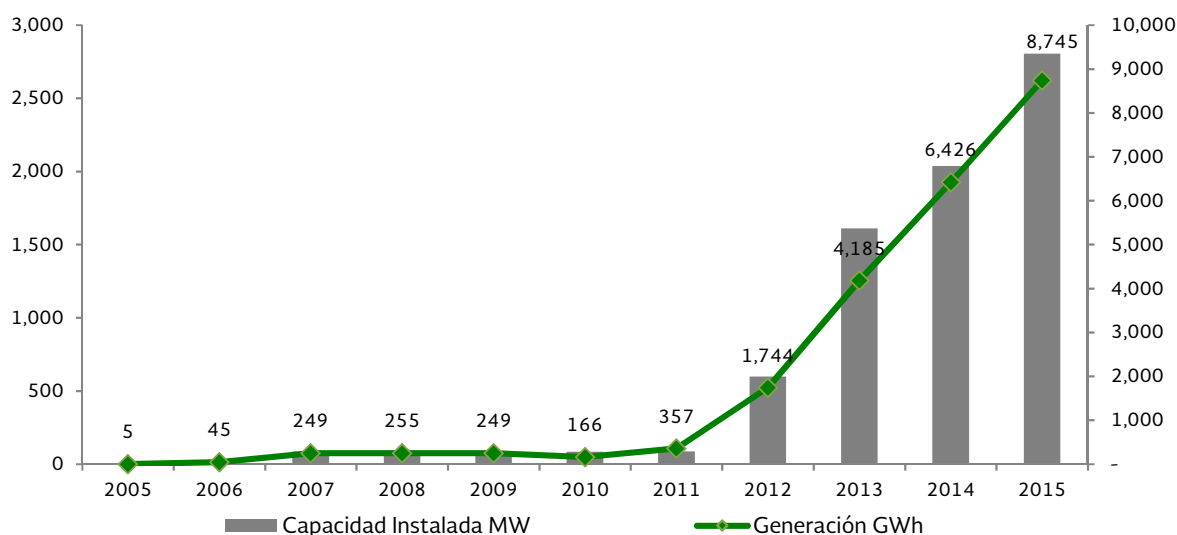
Fuente: SENER.

2.4.2. Generación Eléctrica con Energía Eólica

En los últimos cuatro años, la generación de energía eólica ha mostrado un crecimiento anual promedio equivalente a 2,330 GWh. Al cierre del 2015 la capacidad instalada alcanzó los 2,805.1 MW, lo que significó un incremento del 37.75 % respecto del 2014.

En 2015, la generación eólica fue de 8,745.1 GWh, 36.08% mayor a la generada en 2014. La generación de energía eléctrica a través de la energía eólica ha crecido significativamente desde 2005, de 5.0 GWh/año a 8,745.1 GWh, lo que representa un incremento de cerca del 174,802.0%, clasificándose así en la segunda fuente de generación renovable (véase figura 2.15).

FIGURA 2. 15. CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE CENTRALES EÓLICAS, 2005-2015
(MW, GWh)

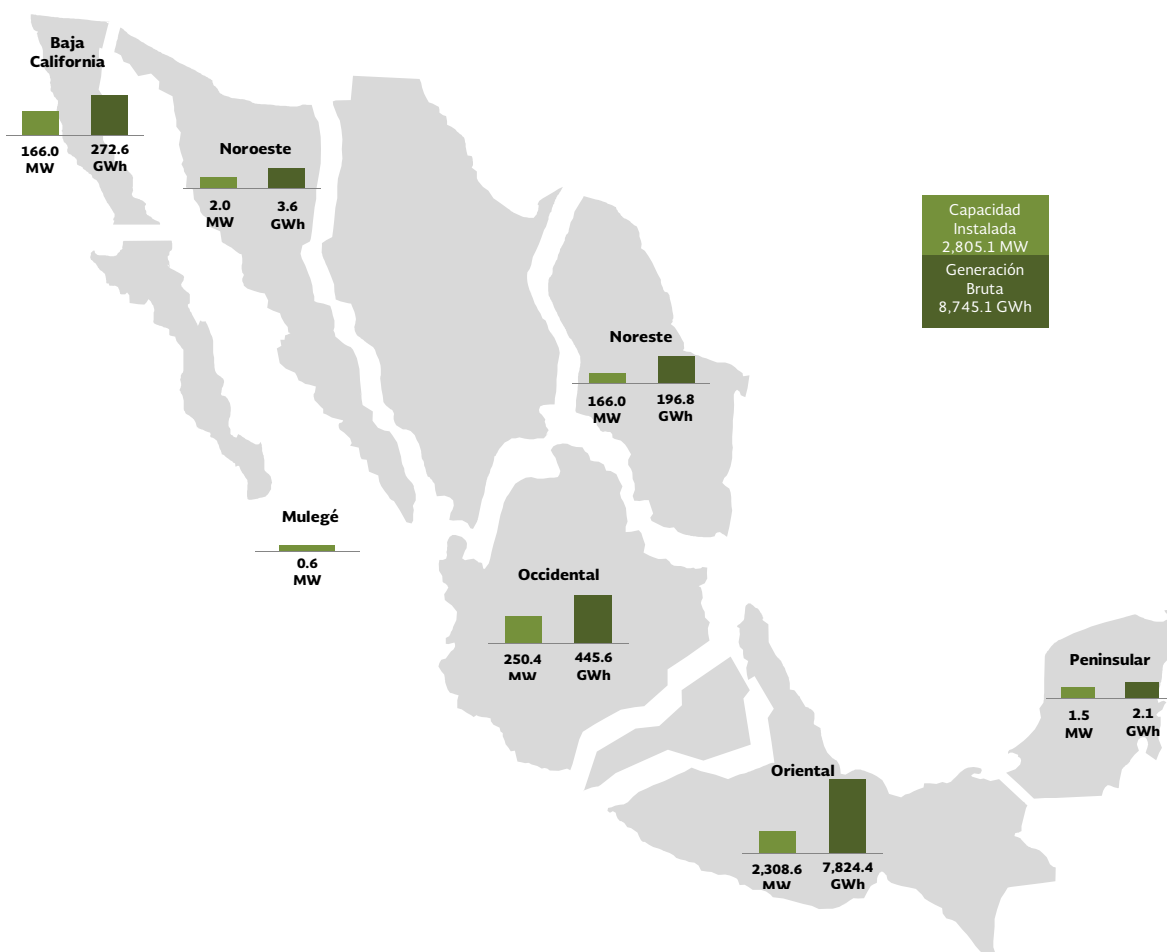


Fuente: SENER.

Al cierre de 2015, se contaba con 32 plantas de generación en todo el territorio nacional. La mayoría (23 plantas), se encuentran concentradas en el área Oriental, principalmente en el estado de Oaxaca, con una capacidad instalada de 2,308.6 MW para esa región.

Otro área importante en la generación de energía eléctrica por tecnología eólica es la ubicada en el área operativa Occidental, con 445.6 GWh en el año 2015. A continuación se encuentra el área de Baja California, con una capacidad instalada de 166.0 MW y generación de electricidad anual de 272.6 GWh (véase figura 2.16 y cuadro 2.5).

FIGURA 2. 16. CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE CENTRALES EÓLICAS POR ÁREA DE CONTROL, 2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

CUADRO 2. 5. CENTRALES DE GENERACIÓN EÓLICA 2015
(MW, GWh)

No.	Central	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ¹	Capacidad Efectiva Total (MW)	Capacidad en contrato de interconexión ^{2/} (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Bii Nee Stipa Energía Eólica, S. A. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	26.4	26.4	89.6
2	Compañía Eólica de Tamaulipas, S. A. de C. V.	TAMS	06-Noreste	AUT.	54.0	54.0	159.6
3	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 1, S. A. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	90.0	90.0	319.2
4	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 2, S. A. P. I. de C. V., Parque Eólico Piedra Larga Fase 2	OAX	02-Oriental	AUT.	137.5	137.5	537.4
5	Dominica Energía Limpia, S. de R.L. de C.V.	SLP	03-Occidental	AUT.	200.0	200.0	288.1
6	Eléctrica del Valle de México, S. de R. L. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	67.5	67.5	198.0
7	Eoliatec del Istmo, S. A. P. I. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	164.0	164.0	595.8

8	Eoliatec del Pacífico, S. A. P. I. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	160.0	160.0	716.0
9	Eólica de Arriaga, S. A. P. I. de C. V.	CHIS	02-Oriental	AUT.	32.0	32.0	86.2
10	Eólica El Retiro, S. A. P. I. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	74.0	74.0	206.0
11	Eólica Los Altos, S. A. P. I. de C. V.	JAL	03-Occidental	AUT.	50.4	54.6	157.5
12	Eólica Santa Catarina, S. de R. L. de C. V.	NL	06-Noreste	AUT.	22.0	22.0	37.2
13	Eólica Zopilotepec, S. A. P. I. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	70.0	70.0	272.9
14	Eurus, S. A. P. I. de C.V.	OAX	02-Oriental	AUT.	250.5	250.5	948.9
15	Fuerza Eólica del Istmo, S. A. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	80.0	80.0	190.3
16	Fuerza y Energía Bii Hioxo, s.a. de c.v	OAX	02-Oriental	AUT.	234.0	227.5	841.1
17	Municipio de Mexicali	BC	08-Baja California	AUT.	10.0	10.0	25.0
18	Parques Ecológicos de México, S. A. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	101.9	99.5	149.8
19	PE Ingenio, S. de R. L. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	49.5	49.5	0.0
20	Stipa Nayaa, S. A. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	74.0	74.0	288.3
21	Puerto Viejo (Guerrero Negro)	BCS	10-Mulegé	CFE	0.6	0.6	0.0
22	La Venta I-II	OAX	02-Oriental	CFE	84.2	84.2	200.8
23	Yuumil'ik	QR	07-Península	CFE	1.5	1.5	2.1
24	Energía Sierra Juárez S. de R.L. de C.V.	BC	08-Baja California	EXP.	156.0	S/C	247.5
25	Energía Sonora PPE, S.C.	SON	04-Noroeste	P.P.	2.0	2.0	3.6
26	Instituto de Investigaciones Eléctricas	OAX	02-Oriental	P.P.	0.3	0.3	0.1
27	La Mata (Sureste I fase II) PIE	OAX	02-Oriental	PIE	102.0	105.0	257.2
28	La Venta III PIE	OAX	02-Oriental	PIE	102.9	105.0	287.8
29	Oaxaca I PIE	OAX	02-Oriental	PIE	102.0	105.0	333.2
30	Oaxaca II PIE	OAX	02-Oriental	PIE	102.0	105.0	430.2
31	Oaxaca III PIE	OAX	02-Oriental	PIE	102.0	105.0	390.5
32	Oaxaca IV PIE	OAX	02-Oriental	PIE	102.0	105.0	485.0
Total		2,805.1		2,661.5		8,745.1	

1/ AUT: Autoabastecimiento; CFE: Comisión Federal de Electricidad; EXP: Exportación; P.P: Pequeña Producción; PIE: Productor Independiente de Energía. 2/ Centrales con contrato de interconexión con el CENACE (S/C: sin contrato de interconexión).
Fuente: SENER.

México cuenta con un alto potencial eólico que se ha desarrollado en los últimos años, de tal manera que se ha vuelto más competitivo entre las tecnologías limpias. Como muestra están los resultados de la segunda subasta eléctrica, donde la energía eólica fue la segunda con mayor demanda con 3,874, 458 MWh de Energía asignada, equivalente al 43% del total.

El considerar cada vez más este tipo de tecnologías, está asociado a la reducción de costos que ha presentado en los últimos años. Aunado a esto, se cuenta con un vasto recurso eólico a lo largo del país, como se muestra en el cuadro 2.6, lo que hace a la energía eólica una opción viable para cumplir con las políticas energéticas sustentables y diversificadas, que permitirá cumplir con los objetivos y metas establecidas en la Ley.

CUADRO 2. 6. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES CON ESCENARIOS DE LA ENERGÍA EÓLICA
(MW, GWh/año)

Escenario	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
1	583,200.0	1,486,713.0
2	290,249.0	740,332.0
3	158,302.0	402,847.0
4	297,444.0	750,186.0

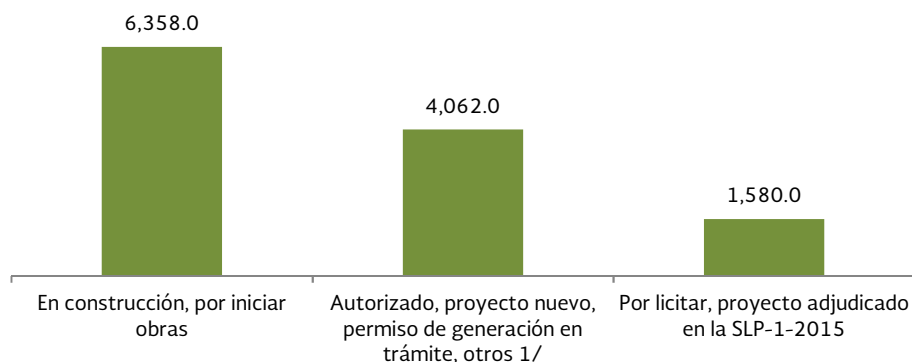
Fuente: SENER.

Para cumplir con la meta de participación de energías limpias del 35.0% en la generación de energía eléctrica para el año 2024, la energía eólica tiene un papel importante en dicho cometido. Más aún, a parte de los beneficios medioambientales con la reducción de emisiones de CO₂, desarrollar la tecnología eólica trae múltiples beneficios económicos y sociales al llevar energía a zonas que presentan ciertas limitantes de acceso al servicio fortaleciendo el desarrollo de las localidades en donde se ubican grandes recursos.

Con la entrada en operación de nuevas centrales en construcción y los proyectos ganadores de la primera y segunda subastas, se espera que en los próximos años la capacidad eólica se triplique, al sumarse 2,456 MW al cierre del 2018 y otros 3,857 MW al cierre del 2019.

Se espera que en el período de 2016 a 2030, se instalen cerca de 12,000.0 MW de nueva capacidad, de la cual el 53.0% se encuentra en fase de construcción o por iniciar obras (véase cuadro 2.17).

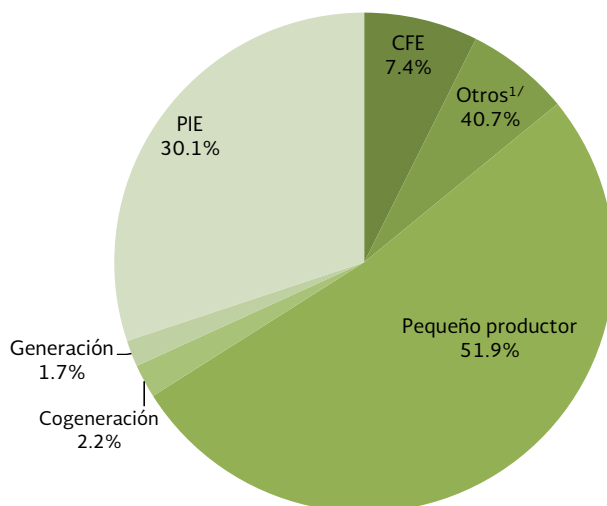
FIGURA 2. 17. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DE PROYECTOS DE CENTRALES EÓLICAS 2016-2030
(MW)



Fuente: SENER.

El alto nivel de competitividad que representa la energía eólica, ha resultado en un incremento en el número de proyectos llevados a cabo por el sector privado. Como se observa en la Figura 2.18, la modalidad de Pequeño productor concentrará el 51.9% del total de capacidad a adicionar, seguido de PIEs con el 30.1%.

FIGURA 2. 18. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD PARA LA TECNOLOGÍA EÓLICA 2016-2030
(MW)

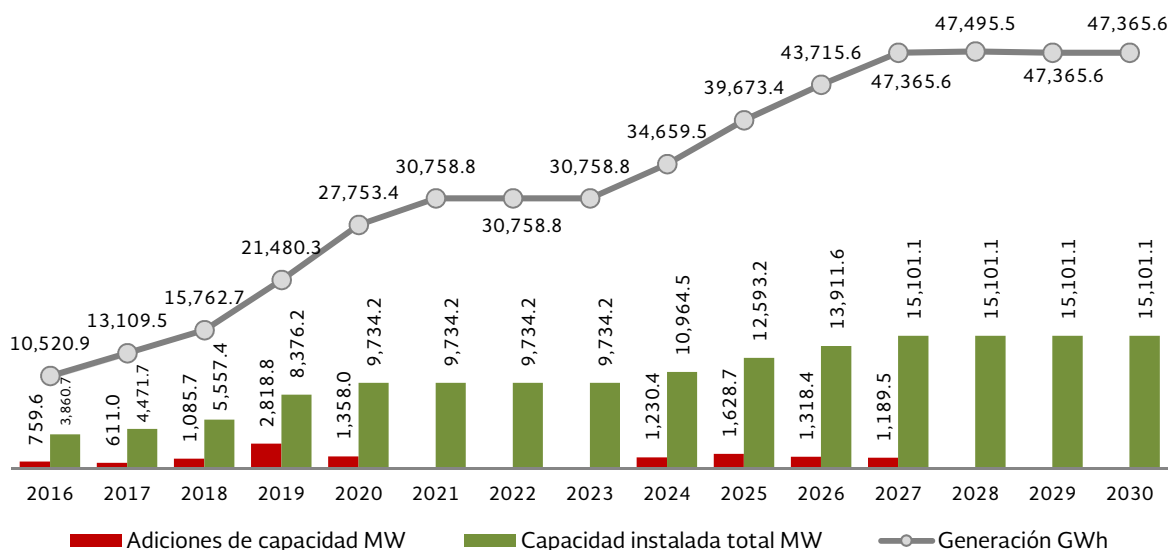


^{1/} Incluye proyectos con modalidad de Importación y Exportación y proyectos genéricos
Fuente: SENER.

La capacidad a adicionar de tecnología eólica se concentra en dos períodos. Entre 2016-2020, se adicionará 6,633.1 MW y entre 2024-2027, el restante 5,366.9 MW. Así, con la adición de 12,000 MW, se espera que al final del período de planeación haya 15,101.1 MW de capacidad instalada.

Respecto a la generación de electricidad proveniente de esta fuente de energía, esta se incrementará 350.2% a lo largo del período comprendido entre 2016 y 2030, para ubicarse en 47,365.6 GWh al final del período.

FIGURA 2. 19. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN DE LAS CENTRALES EÓLICAS, 2016-2030
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

2.4.3. Generación Eléctrica con Energía Geotérmica

Actualmente, y en atención a los avances de la Reforma Energética en materia de Geotermia, la industria ha tenido un crecimiento que no se veía en México hace más de 30 años, lo que exige que se desarrollen regulaciones de carácter técnico, social, comercial y de protección ambiental para asegurar la sustentabilidad de los sistemas geotérmicos hidrotermales y de roca seca, así como promover programas especializados en el desarrollo de talento mexicano para la industria que permitan fortalecer la vinculación entre universidades, empresas desarrolladoras de proyectos y nuevas tecnologías geotérmicas.

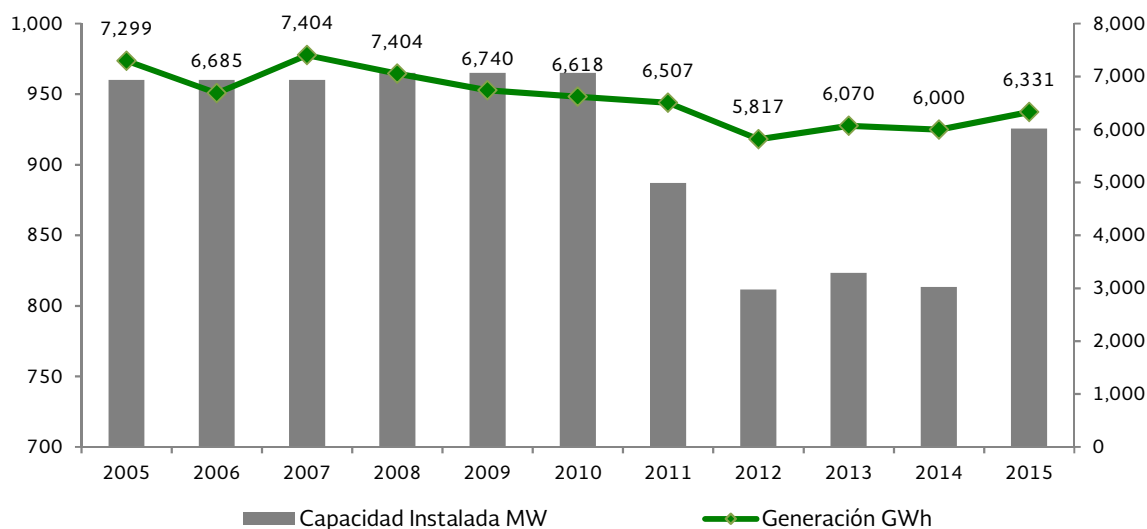
Se considera que deben llevarse a cabo acciones que permitan impulsar el desarrollo de proyectos geotérmicos de media y baja entalpía, tanto para generación de electricidad como usos directos, pues ello permitirá una aplicación más amplia de la tecnología; igualmente deberá fomentarse la investigación de tecnologías para roca seca de alta temperatura y alta presión y para la explotación mar adentro de los recursos geotérmicos.

Se considera que una de las herramientas en las que se deberá de poner énfasis para incentivar la industria geotérmica será el fortalecimiento de instrumentos financieros de cobertura de riesgos para la etapa de exploración en proyectos geotérmicos, y en las subastas de energía y potencial del nuevo Mercado Eléctrico.

En 2015, se reportaron ocho plantas de generación eléctrica en cuatro campos geotérmicos, con una capacidad de 925.6 MW. Como se observa en la Figura 2.20 la industria geotérmica presentó decaimiento entre 2011 y 2014 debido a la declinación de los pozos productores del campo geotérmico Cerro Prieto, lo cual tuvo como consecuencia la reducción en la capacidad instalada y la caída de la generación de electricidad..

Sin embargo entre 2014 y 2015, gracias al fuerte impulso proveniente de la Ley de Energía Geotérmica, la producción de electricidad con esta fuente de energía se incrementó 5.5% para ubicarse en 6,330.9 GWh.

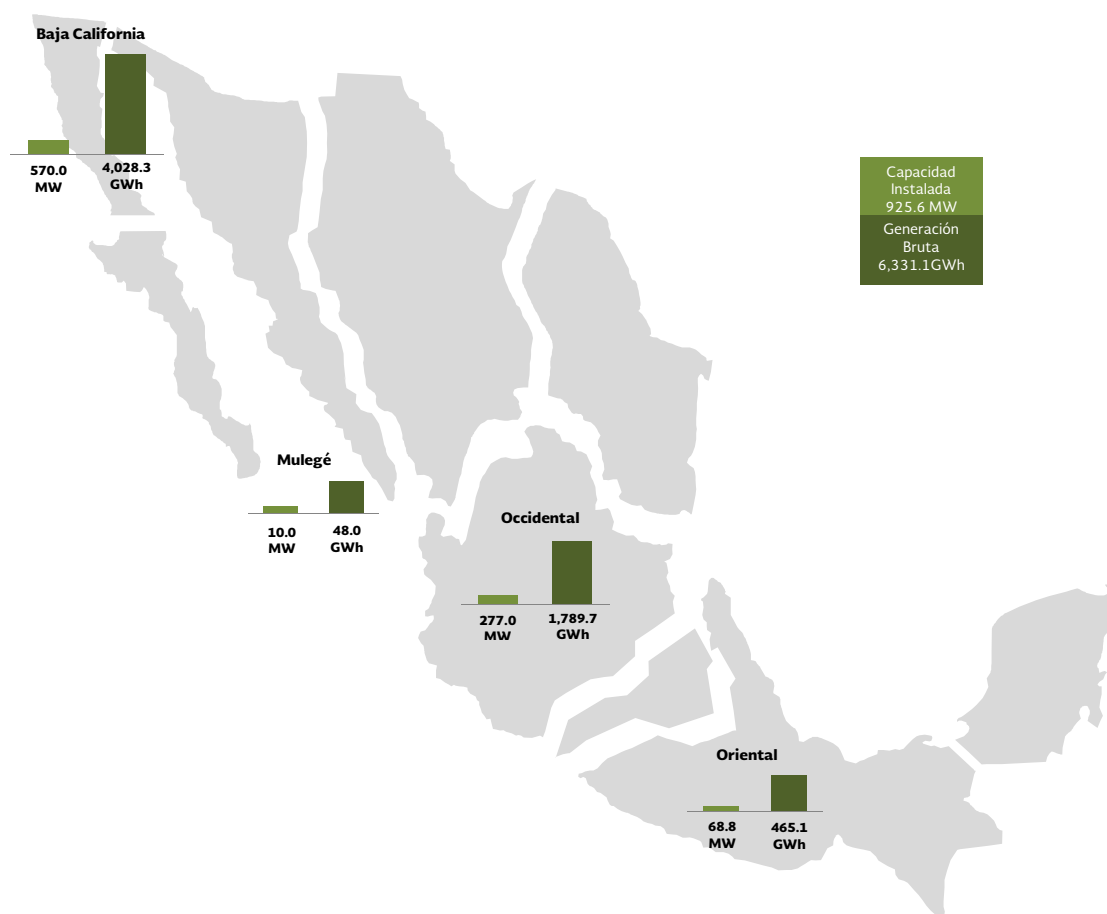
FIGURA 2. 20. CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE CENTRALES GEOTÉRMICAS, 2005 – 2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

El país cuenta con recursos geotérmicos abundantes distribuidos en el territorio y, al corte de 2015, se reportaron 8 centrales: 4 ubicadas en el estado de Baja California en el campo de Cerro Prieto; una en Nayarit en Domo de San Pedro; una en Michoacán en Los Azufres; una en Puebla en Los Humeros, y la última en Baja California Sur, llamada Las tres Vírgenes (véase figura 2.21 y cuadro 2.7).

FIGURA 2. 21. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DE ENERGÍA GEOTÉRMICA POR ÁREA DE CONTROL, 2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

CUADRO 2. 7. CENTRALES DE GENERACIÓN GEOTÉRMICA, 2015
(MW, GWh)

No.	Central	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Efectiva Total (MW)	Capacidad en contrato de interconexión ^{2/} (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Geotérmica para el Desarrollo, S.A.P.I. de C.V.	NAY	03-Occidental	AUT.	52.0	10.0	39.8
2	Cerro Prieto I	BC	08-Baja California	CFE	30.0	30.0	4,028.3
3	Cerro Prieto II	BC	08-Baja California	CFE	220.0	220.0	0.0
4	Cerro Prieto III	BC	08-Baja California	CFE	220.0	220.0	0.0
5	Cerro Prieto IV	BC	08-Baja California	CFE	100.0	100.0	0.0
6	Los Azufres	MICH	03-Occidental	CFE	225.0	225.0	1,749.8
7	Los Humeros	PUE	02-Oriental	CFE	68.6	68.6	465.1
8	Tres Vírgenes	BCS	10-Mulegé	CFE	10.0	10.0	48.0
Total					925.6	883.6	6,331.0

^{1/} AUT: Autoabastecimiento; CFE: Comisión Federal de Electricidad. ^{2/} Centrales con contrato de interconexión con el CENACE (S/C: sin contrato de interconexión).

Fuente: SENER.

México cuenta con un formidable potencial de recursos geotérmicos que, con la Reforma Energética y la Ley de Energía Geotérmica, se pretende apoyar para una mayor participación de la iniciativa privada, ya que la aplicación de esta tecnología requiere altos niveles de inversión.

En el cuadro 2.8 se muestra el potencial de capacidad y generación probable de la energía geotérmica, lo cual permite inferir las oportunidades que se tienen para el desarrollo de la industria geotérmica en México.

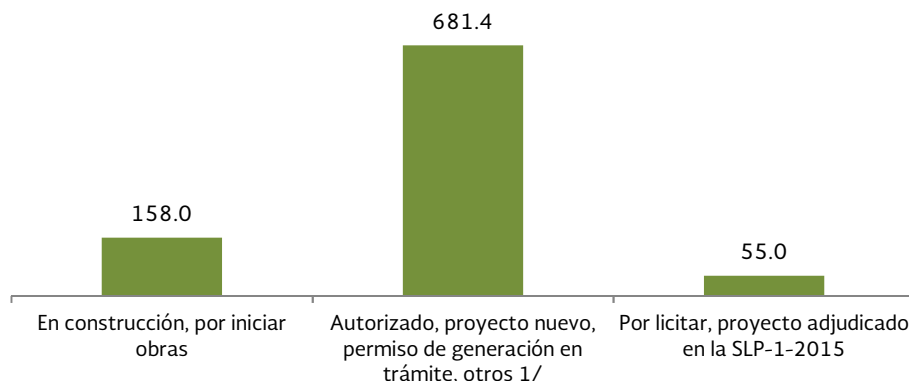
CUADRO 2. 8. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES CON ESCENARIOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA
(MW, GWh)

Escenario	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
1	174.0	1,373.0
2	399.0	3,146.0
3	571.0	4,509.0
4	125.0	986.0

Fuente: SENER.

Con el fin de aumentar el aprovechamiento de esta fuente renovable se espera incrementar 894.4 MW de capacidad al 2030. 158.0 MW se encuentran en fase de construcción o por iniciar obras. A la fecha, existen permisos de generación, otorgados por la CRE (autorizados, nuevos, en trámite), por 681.4 MW (véase figura 2.22).

FIGURA 2. 22. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DEL PROYECTO DE TECNOLOGÍA GEOTÉRMICA, 2016-2030
(MW)

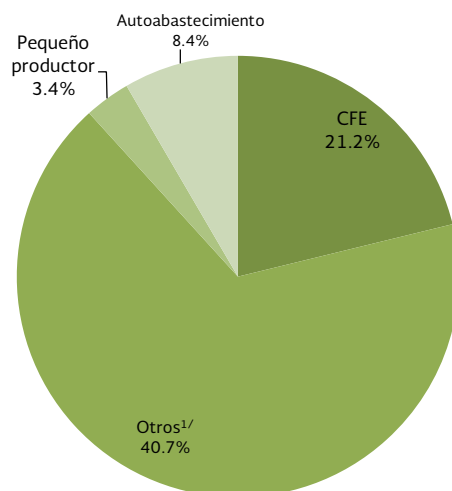


^{1/} Incluye aquellos proyectos de generación con estatus: Condicionado, Cancelado en PEF 2016, con avance en el proceso de interconexión ante CENACE y suspendido.
Fuente: SENER.

Desde de la publicación de la Ley de Energía Geotérmica la SENER ha otorgado 21 permisos de exploración de recursos geotérmicos, en siete Estados de la República Mexicana, consolidando el repunte de la industria geotérmica mexicana.

Bajo el nuevo esquema de planeación, donde se espera una mayor colaboración del sector privado en la participación de proyectos de generación geotérmica, se considera una participación de 40.7% de proyectos bajo la modalidad de genéricos. Por su parte, CFE participará con el 21.2% de la capacidad a instalar hacia el 2030 (figura 2.23).

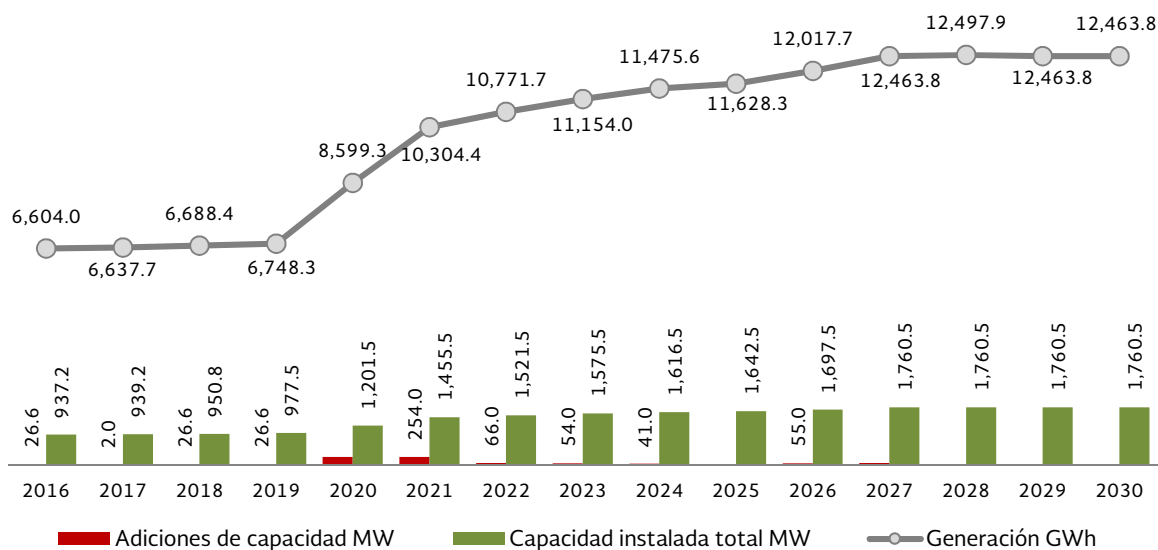
**FIGURA 2. 23. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD PARA LA TECNOLOGÍA GEOTÉRMICA
2016-2030
(MW)**



^{1/} Incluye proyectos con modalidad de Importación y Exportación y proyectos genéricos.
Fuente: SENER.

La energía geotérmica en México se desarrolla y aprovecha con paso firme, en un nuevo esquema que brinda plena seguridad jurídica a los inversionistas. Gracias a su alto potencial en la obtención de energía eléctrica, se espera un crecimiento de la capacidad instalada de 87.8% para ubicarse en 1,760.0MW al final del período de planeación. Mientras que la generación se incrementará a 12,463.8 GWh.

**FIGURA 2. 24. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD INSTALADA Y
GENERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GEOTÉRMICA 2016-2030
(MW, GWh)**

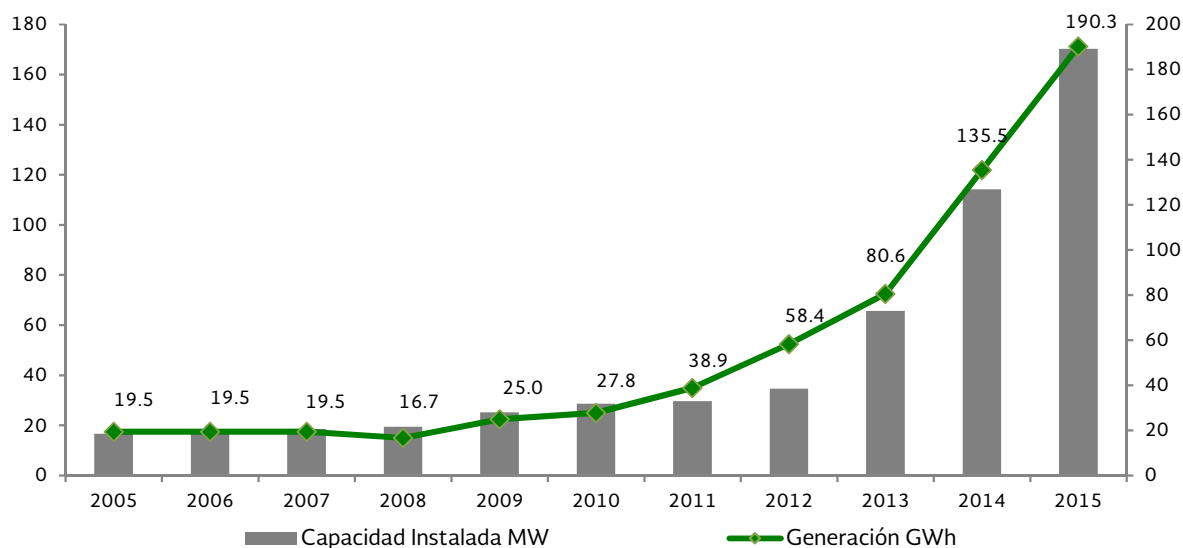


Fuente: SENER.

2.4.4. Generación Eléctrica con Energía Solar Fotovoltaica

Desde la publicación del Primer Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala, así como la entrada en operación de la primera central fotovoltaica de gran escala en 2011, la capacidad instalada y la generación de energía eléctrica a partir de energía solar se incrementó de 18.5 MW y 8.8 GWh en el año 2007 a 170.24 MW y 190.26 GWh en el año 2015. Este incremento se ha visto reforzado por el crecimiento importante de los Contratos de Interconexión Legados (Pequeña y Mediana Escala), los cuales desde 2010 han observado tasas de crecimiento importantes. (véase figura 2.25).

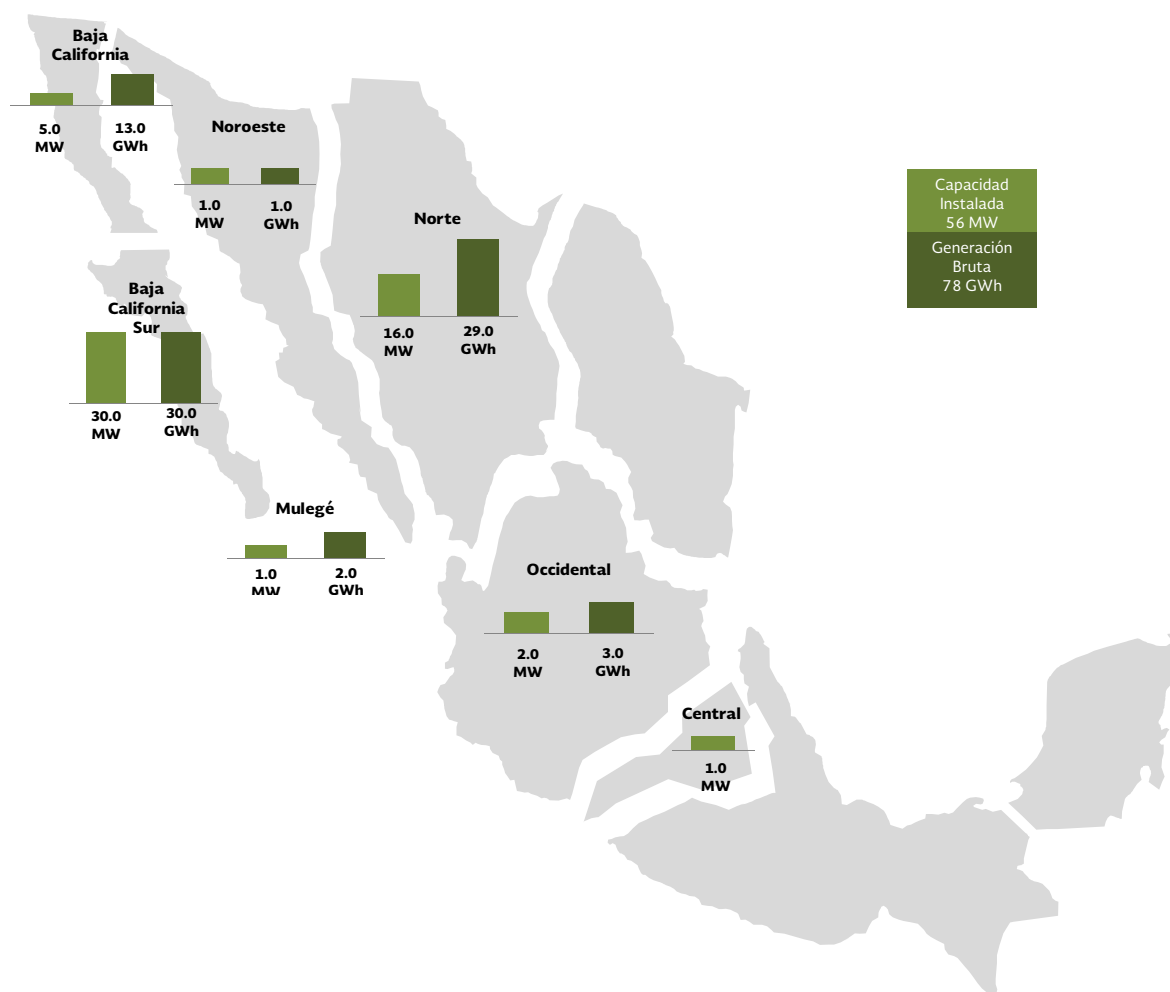
FIGURA 2. 25. CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS, 2005 – 2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

En México, al 2015 se reportaron 9 centrales de generación con energía solar fotovoltaica, éstas se encuentran distribuidas en distintas áreas operativas: dos en Baja California, una en Baja California Sur, una en Noroeste, una en el área Norte, dos en el área Occidental, una en el área central y la última en Mulegé. En conjunto, suman 56.0 MW de capacidad y generaron 78.0 GWh de energía eléctrica (véase figura 2.26 y cuadro 2.9).

FIGURA 2. 26. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA POR ÁREA DE CONTROL
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

CUADRO 2. 9. CENTRALES DE GENERACIÓN SOLAR 2015
(MW, GWh)

No.	Central	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Efectiva Total (MW)	Capacidad en contrato de interconexión ^{2/} (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Autoabastecimiento Renovable, S. A. de C. V.	AGS	03-Occidental	AUT.	0.8	0.8	3.2
2	Coppel, S. A. de C. V.	SON	04-Noroeste	AUT.	1.0	1.0	0.7
3	Generadora Solar Apaseo, S. A. P. I. de C. V.	GTO	03-Occidental	AUT.	1.0	1.0	0.0
4	Iusasol Base, S. A. de C. V.	MEX	01-Central	AUT.	0.9	0.9	0.0
5	Plamex, S. A. de C. V.	BC	08-Baja California	AUT.	1.0	1.0	1.8
6	Tai Durango Uno, S. A. P. I. de C. V.	DGO	05-Norte	AUT.	15.6	15.2	29.5
7	Cerro Prieto	BC	08-Baja California	CFE	5.0	5.0	10.7
8	Sta. Rosalía (Tres Vírgenes)	BCS	10-	CFE	1.0	1.0	2.0

9	Servicios Comerciales de Energía, S. A. de C. V. (Aura Solar)	BCS	Mulegé 09-Baja California Sur	P.P.	30.0	29.8	30.4
Total					56.3	55.8	78.2

^{1/} AUT: Autoabastecimiento; CFE: Comisión Federal de Electricidad; P.P: Pequeña Producción. ^{2/} Centrales con contrato de interconexión con el CENACE (S/C: sin contrato de interconexión).

Fuente: SENER.

El gran potencial de la energía solar se vio reflejado en los resultados de la segunda subasta eléctrica al ganar el 54% del total requerido (4,836, 597.0 MWh), cabe recordar que la energía limpia adquirida en esta subasta equivale a aproximadamente el 3% de la generación anual de electricidad en México. Se espera que al cierre de 2019 se adicione 5,400 MW de capacidad (20 veces la capacidad actual), debido a las adiciones de capacidad de nuevas centrales, y a los proyectos ganadores de la primera y segunda subasta que contribuirán con 1,691 MW y 1,853 MW respectivamente.

Como se observa en el cuadro 2.10, la capacidad instalable en los 4 escenarios es alta y si se considera que los precios a nivel internacional de la tecnología han disminuido considerablemente (como se aborda más a detalle en el siguiente capítulo), esta tecnología se vuelve altamente competitiva.

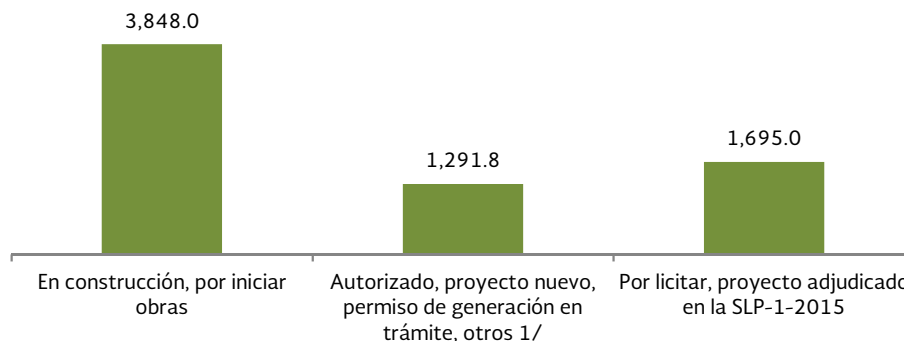
CUADRO 2. 10. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES CON ESCENARIOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
(MW, GWh)

Escenario	Tipo	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
1	Solar fijo	965,373.0	1,716,274.0
	Solar Seguimiento	691,925.0	1,692,453.0
2	Solar fijo	537,134.0	957,726.0
	Solar Seguimiento	379,007.0	925,270.0
3	Solar fijo	127,722.0	228,485.0
	Solar Seguimiento	89,667.0	218,658.0
4	Solar fijo	395,664.0	701,229.0
	Solar Seguimiento	287,455.0	694,568.0

Fuente: SENER.

Para 2015, la capacidad instalada de energía solar FV fue de 190.3 MW y se espera un incremento de 6,834.8 MW en nuevos proyectos. De los proyectos considerados, 56.3% se encuentran en fase de construcción o por iniciar obras; 24.8% son proyectos por licitar o adjudicados en la primer subasta eléctrica de largo plazo y 18.9% para los restantes (véase cuadro 2.27).

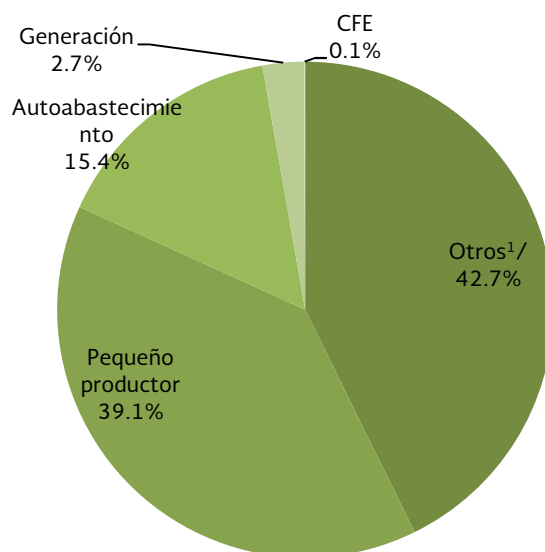
FIGURA 2. 27. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DEL PROYECTO DE TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2016-2030¹⁷
(MW)



¹⁷ Incluye aquellos proyectos de generación con estatus: Condicionado, Cancelado en PEF 2016, con avance en el proceso de interconexión ante CENACE y suspendido
Fuente: SENER.

Respecto a la capacidad a instalar en el período de planeación por modalidad, se observa que existe una gran participación del sector privado (véase figura 2.28).

FIGURA 2. 28. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD PARA LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2016-2030
(MW)



¹⁷ Incluye proyectos con modalidad de Importación y Exportación y proyectos genéricos.
Fuente: SENER.

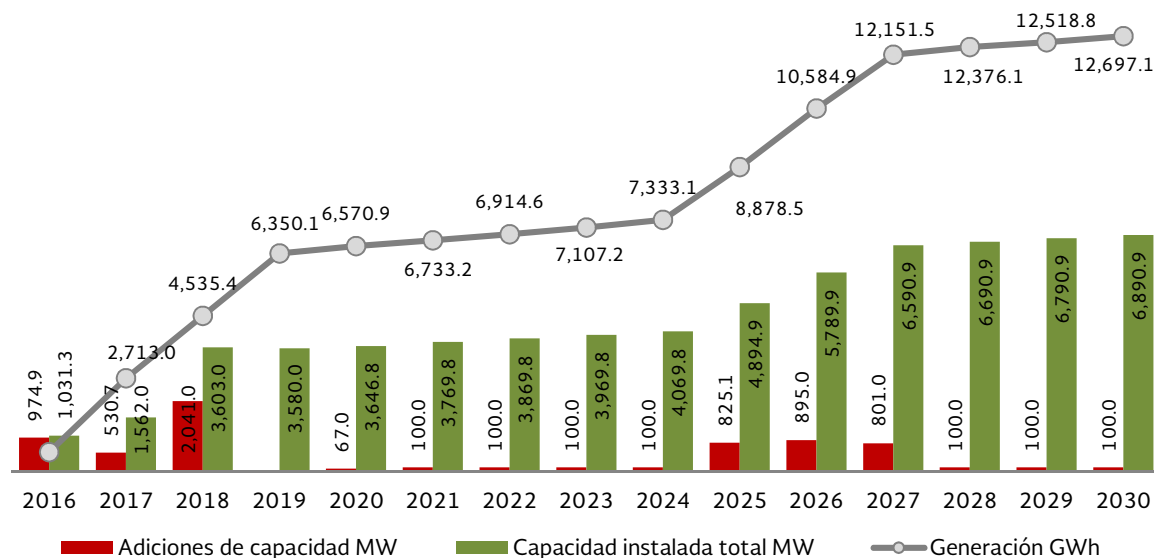
La energía solar FV está comenzando a jugar un rol importante en la generación de electricidad en algunos países. Esto se debe a que la rápida disminución en los costos ha hecho que la electricidad no subsidiada y generada a partir de energía solar FV, pueda competir con los costos de los combustibles fósiles.

¹⁷ No se consideran las adiciones de capacidad por los resultados de la segunda subasta eléctrica.

Para el caso de México se tiene previsto un incremento de capacidad instalada de 568.2%, pasando de 1,031.2 MW en 2016 a 6,890.9 MW en 2030. Cabe destacar que habrá dos períodos trascendentes para la adición de capacidad de generación eléctrica, el primero será entre 2016 y 2018, con cerca de 3,546.6 MW. El segundo período comprende del 2020 al 2030, siendo 2025, 2026 y 2027, los que tendrán la mayor adición de capacidad a instalar con 3,288.1 MW.

Respecto a la generación de energía eléctrica, esta se incrementará 2,180.7 % (equivalente a 12,140.4 GWh), y ubicarse así en 12,697.1 GWh al final del período de proyección.

FIGURA 2. 29. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA 2016-2030
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

2.4.5. Generación Eléctrica con Bioenergía

Los bioenergéticos según la definición de la **Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)** es la siguiente:

“Combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades, agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente en los términos de la LPDB”¹⁸.

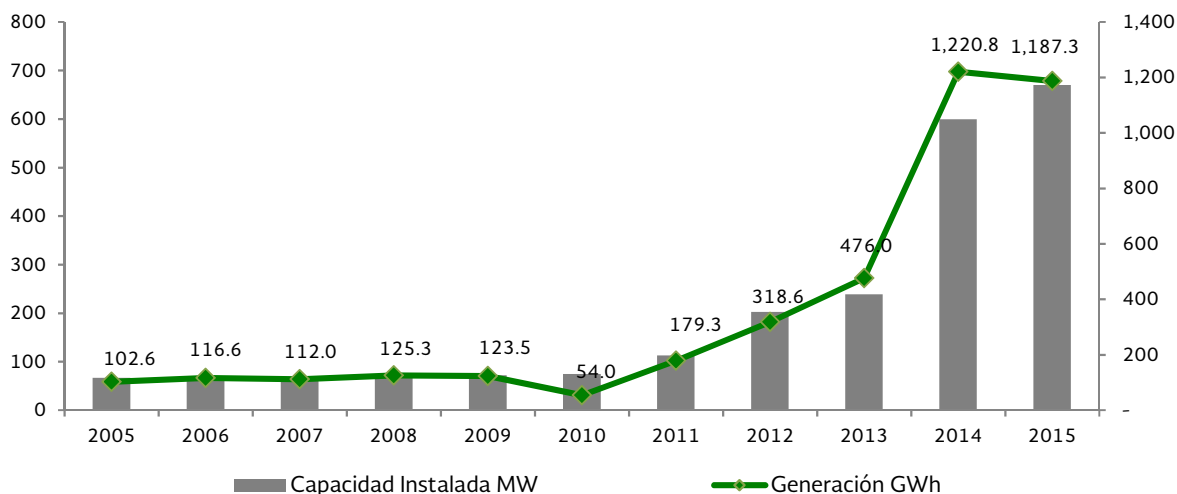
Con el incremento en la participación de bioenergéticos en la matriz de generación eléctrica, se ayuda a satisfacer la creciente demanda de energía y contribuye a alcanzar los objetivos ambientales para la disminución de contaminantes.

En México, se emplean dos tipos de bioenergía: biomasa y biogás para la generación de energía eléctrica. Estas fuentes de energía son otra alternativa a la sustitución de combustibles fósiles, y en años recientes, ha crecido su potencial logrando ocupar una posición en la matriz energética, gracias a la publicación de la LPDB.

La Biomasa para la generación de energía eléctrica en México, se obtiene principalmente del Bagazo de caña. La capacidad instalada derivada del uso de bagazo de caña se incrementó 906.5%, pasando de 66.6 MW a 599.1 MW al cierre del 2015.

Respecto a la generación de electricidad, se produjo 1,187.3 GWh, 1,084.6 GWh más que el 2005 (102.6 GWh), lo que representó un incremento de 1,056.8% a lo largo de la década 2005-2015 (véase figura 2.30).

FIGURA 2. 30. CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE ELECTRICIDAD CON BAGAZO DE CAÑA, 2005 – 2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

El biogás es un producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Es generado por una serie de reacciones en distintas etapas de degradación, relacionadas con la actividad de un consorcio microbiano de diversas bacterias incluyendo metanogénicas. Está compuesto principalmente por dióxido de carbono y metano y proviene principalmente de rellenos sanitarios y de plantas de biodigestión.

¹⁸ <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>

De los principales usos del biogás se encuentran los procesos industriales, vehicular, calderas y de cogeneración, este último contribuye a la mitigación de emisiones de GEI, resultante del proceso de generación eléctrica.

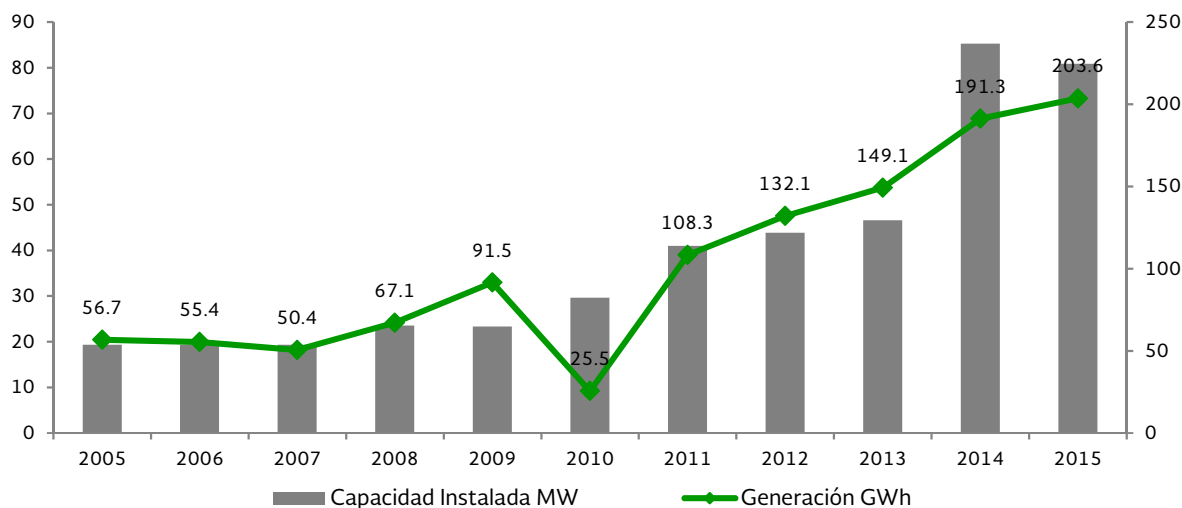
La SENER en cooperación con la SEMARNAT y la Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) estiman que el país cuenta con un potencial de 3.1 millones de toneladas anuales de residuos sólidos urbanos para utilizarse en el coprocesamiento cementero en México, este potencial remplazaría el 30% de la energía térmica generada con coque de petróleo y carbón de ese sector.

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a través del Programa Nacional de Plantaciones Forestales (PRODEPLAN), estima las plantaciones energéticas potenciales para el año 2025 en 16.3 millones de hectáreas. El potencial energético de estas plantaciones alcanzaría entre 450 y 1,246 PJ.

Hasta diciembre del 2015 se otorgaron 4 permisos de producción, 3 de comercialización y 42 de transporte.

Entre 2005 y 2015 la capacidad instalada para generación de energía eléctrica por biogás paso de 19.3 MW a 80.8 MW, lo que representó un incremento de 319.1%. Respecto a la producción de electricidad, el incremento fue de 258.9% en el mismo período, registrando al cierre del 2015 203.5 GWh (véase figura 2.31).

FIGURA 2. 31. CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA Y GENERACIÓN BRUTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS, 2005 – 2015
(MW, GWh)

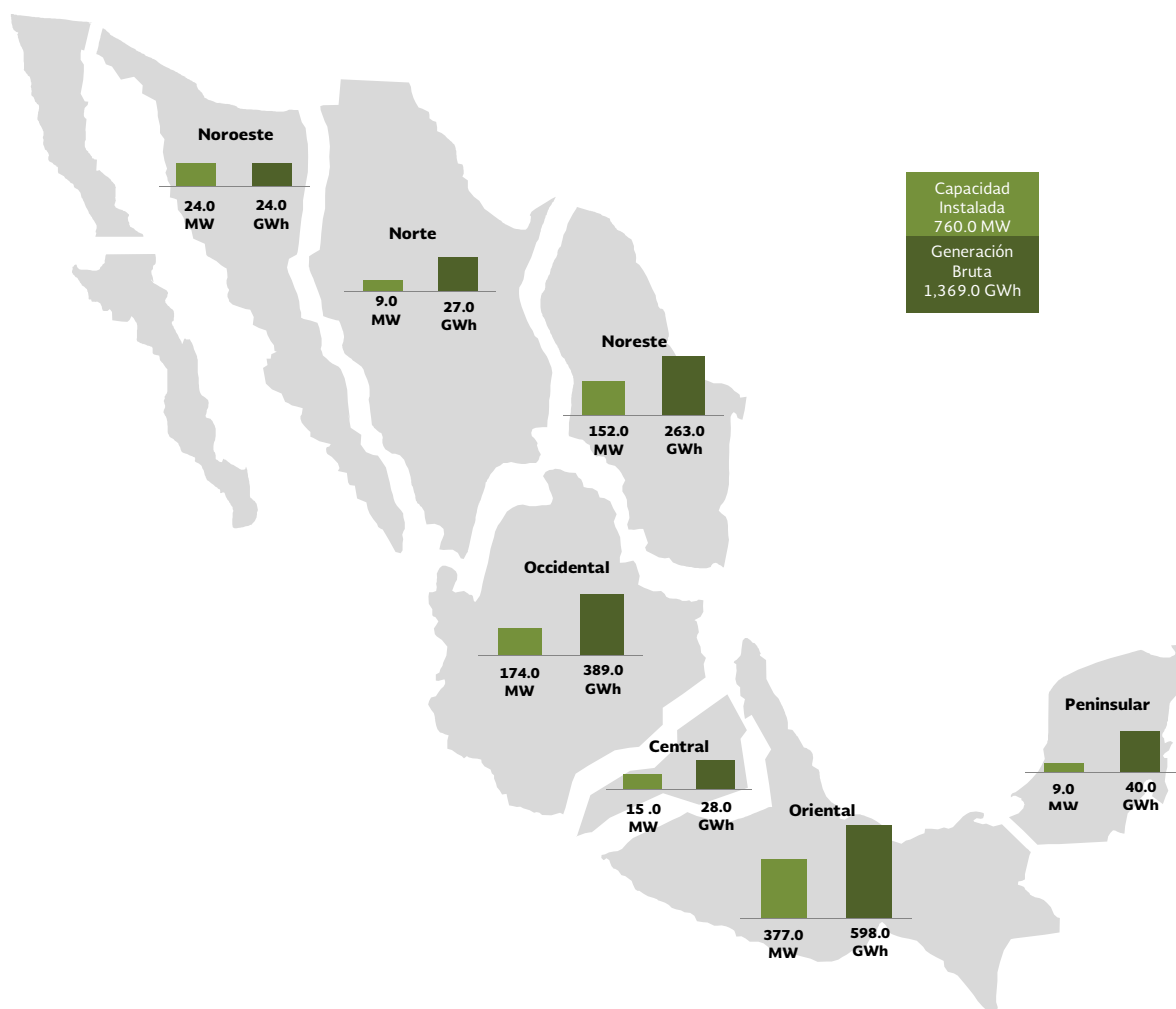


Fuente: SENER.

En todo el país se cuenta con 70 centrales de generación que emplean bioenergía, ya sea biomasa o biogás. Las regiones con mayor producción de energía eléctrica a través de estos bioenergéticos son Oriental y Occidental, con 598.0 GWh y 389.0 GWh respectivamente. Esto es asociado a la gran cantidad de ingenios azucareros que existe en esa región, siendo el estado de Veracruz uno de los más importantes en la producción de bagazo de caña.

Cabe destacar que en 2015 en el área Peninsular con tan sólo una central generó, 40.0 GWh y en el área Norte, con tres centrales cuya capacidad en conjunto fue de 9.0 MW, generó 24.0 GWh, lo que implica un gran esfuerzo por utilizar esta fuente de energía (véase figura 2.32 y cuadro 2.11).

FIGURA 2. 32. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DE ENERGÍA BAGAZO POR ÁREA DE CONTROL, 2015
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

CUADRO 2. 11. CENTRALES DE GENERACIÓN CON BIOENERGÍA, 2015
(MW, GWh)

No.	Central	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Efectiva Total (MW)	Capacidad en contrato de interconexión ^{2/} (MW)	Generación Bruta (GWh)
1	Azsuremex, S. A. de C. V.	TAB	02-Oriental	AUT.	2.5	S/C	2.9
2	Bsm Energía de Veracruz, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	AUT.	12.8	12.8	27.1
3	Compañía Azucarera de Los Mochis, S. A. de C. V.	SIN	04-Noroeste	AUT.	14.0	S/C	17.3
4	Compañía Azucarera del Río Guayalejo, S. A. de C. V.	TAMS	06-Noreste	AUT.	45.5	S/C	22.7
5	Compañía Azucarera la Fé, S. A. de C. V.	CHIS	02-Oriental	AUT.	13.1	S/C	25.5
6	Cooperativa La Cruz Azul, S. C. L.	AGS	03-Occidental	AUT.	1.0	1.0	0.0
7	Ecosys III, S. A. de C. V.	GTO	03-Occidental	AUT.	1.7	S/C	1.2

8	Empacadora San Marcos, S. A. de C. V.	PUE	02-Oriental	AUT.	1.0	S/C	0.0
9	Energía Láctea, S. A. de C. V.	CHIH	05-Norte	AUT.	0.8	0.8	0.0
10	Fideicomiso Ingenio Plan de San Luis	SLP	06-Noreste	AUT.	9.0	S/C	23.4
11	Grupo Azucarero San Pedro, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	AUT.	10.0	S/C	33.4
12	Impulsora de La Cuenca del Papaloapan, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	AUT.	24.2	S/C	53.1
13	Ingenio Adolfo López Mateos, S. A. de C. V.	OAX	02-Oriental	AUT.	13.5	S/C	28.9
14	Ingenio Alianza Popular, S. A. de C. V.	SLP	06-Noreste	AUT.	6.4	S/C	20.0
15	Ingenio El Higo, S. A. de C. V.	VER	06-Noreste	AUT.	21.8	S/C	38.1
16	Ingenio El Mante, S. A. de C. V.	TAMS	06-Noreste	AUT.	5.8	S/C	9.0
17	Ingenio El Molino, S. A. de C. V.	NAY	03-Occidental	AUT.	10.0	S/C	15.1
18	Ingenio Eldorado, S. A. de C. V.	SIN	04-Noroeste	AUT.	9.6	S/C	6.8
19	Ingenio Lázaro Cárdenas, S. A. de C. V.	MICH	03-Occidental	AUT.	5.5	S/C	8.3
20	Ingenio Melchor Ocampo, S. A. de C. V.	JAL	03-Occidental	AUT.	6.1	S/C	27.2
21	Ingenio Nuevo San Francisco, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	AUT.	6.5	S/C	13.3
22	Ingenio Presidente Benito Juárez, S. A. de C. V.	TAB	02-Oriental	AUT.	14.0	S/C	21.7
23	Ingenio San Francisco Ameca, S. A. de C. V.	JAL	03-Occidental	AUT.	4.5	S/C	14.4
24	Ingenio San Miguelito, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	AUT.	5.2	S/C	7.1
25	Ingenio San Rafael de Pucté, S. A. de C. V.	QR	07-Peninsular	AUT.	9.0	S/C	39.8
26	Ingenio Tala, S. A. de C. V.	JAL	03-Occidental	AUT.	12.0	S/C	1.3
27	Ingenio Tamazula, S. A. de C. V.	JAL	03-Occidental	AUT.	10.5	S/C	44.7
28	Ingenio Tres Valles, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	AUT.	12.0	40.0	0.0
29	Kimberly-Clark de México, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	AUT.	10.0	10.0	0.0
30	Lorean Energy Group, S. A. P. I. de C. V.	COAH	06-Noreste	AUT.	2.1	2.1	0.0
31	Nacional Financiera, Sociedad Nacional de Crédito, Institución de Banca de desarrollo, Como Fiduciaria En El Fideicomiso denominado "Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata"	MOR	01-Central	AUT.	8.6	S/C	18.3
32	Servicios de Agua Y Drenaje de Monterrey, Institución Pública descentralizada del Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Dulces Nombres	NL	06-Noreste	AUT.	9.2	S/C	0.4
33	Servicios de Agua Y Drenaje de Monterrey, Institución Pública descentralizada del Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Norte	NL	06-Noreste	AUT.	1.6	S/C	0.0
34	Sociedad Autoabastecedora de Energía Verde de Aguascalientes, S. de R. L. de C. V.	AGS	03-Occidental	AUT.	2.6	2.7	11.0
35	Tmq Generación Energía Renovable, S. A. P. I. de C. V.	QRO	03-Occidental	AUT.	1.4	2.7	0.0
36	Transformadora de Energía Eléctrica de Juárez, S. A. de C. V.	CHIH	05-Norte	AUT.	6.4	6.4	24.9
37	Destilería del Golfo, S.A. de C.V. (Alcoholera de Zapopan, S.A. de C.V.)	VER	02-Oriental	COG.	8.0	8.0	7.2
38	Atlatic, S. A. de C. V.	QRO	03-Occidental	COG.	1.0	1.0	3.8

39	Atlatec, S. A. de C. V., Planta El Ahogado	JAL	03-Occidental	COG.	2.8	S/C	7.7
40	Bio Pappel, S. A. B. de C. V., Planta Atenquique	JAL	03-Occidental	COG.	15.5	S/C	27.4
41	Bioenergía de Nuevo León, S. A. de C. V.	NL	06-Noreste	COG.	17.0	17.0	98.9
42	Conservas La Costeña, S. A. de C. V. y Jugomex, S. A. de C. V.	MEX	01-Central	COG.	1.0	S/C	3.8
43	Energía Renovable de Cuautla, S. A. de C. V.	MOR	01-Central	COG.	1.1	1.1	0.0
44	Huixtla Energía, S. A. de C. V.	CHIS	02-Oriental	COG.	12.0	12.0	23.3
45	Piasa Cogeneración, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	COG.	40.0	40.0	132.4
46	Renova Atlatec, S. A. de C. V.	JAL	03-Occidental	COG.	11.4	S/C	0.0
47	Tala Electric, S. A. de C. V.	JAL	03-Occidental	COG.	25.0	25.0	94.5
48	Ener-G, S. A. de C. V.	DGO	05-Norte	P.P.	1.6	1.6	2.4
49	Energreen Energía Pi, S. A. de C. V.	MEX	01-Central	P.P.	0.6	0.6	1.5
50	Central Motzorongo, S.A. de C.V.	VER	02-Oriental	U.P.C.	20.0	S/C	13.4
51	Compañía Azucarera La Concepcion, S.A. de C.V.	VER	02-Oriental	U.P.C.	4.2	S/C	0.5
52	Compañía Industrial Azucarera, S.A. de C.V.	VER	02-Oriental	U.P.C.	5.5	S/C	12.8
53	Fideicomiso Ingenio Atencingo	PUE	02-Oriental	U.P.C.	15.0	S/C	28.6
54	Fideicomiso Ingenio La Providencia	VER	02-Oriental	U.P.C.	7.0	S/C	10.0
55	Ingenio El Carmen, S.A.	VER	02-Oriental	U.P.C.	6.8	S/C	6.4
56	Ingenio El Modelo, S.A.	VER	02-Oriental	U.P.C.	9.0	S/C	12.2
57	Ingenio El Potrero, S.A.	VER	02-Oriental	U.P.C.	10.0	S/C	20.2
58	Ingenio El Refugio, S.A. de C.V.	OAX	02-Oriental	U.P.C.	4.0	S/C	0.7
59	Ingenio La Gloria, S.A.	VER	02-Oriental	U.P.C.	52.5	21.5	17.7
60	Ingenio La Margarita, S. A. de C. V.	OAX	02-Oriental	U.P.C.	7.3	S/C	26.8
61	Ingenio Mahuixtlán, S. A. de C. V.	VER	02-Oriental	U.P.C.	3.3	S/C	5.2
62	Fomento Azucarero del Golfo, S.A. (Ingenio Panuco, S.A.P.I. de C.V.)	VER	06-Noreste	U.P.C.	17.6	S/C	26.6
63	Ingenio Plan de Ayala, S.A. de C.V.	SLP	06-Noreste	U.P.C.	16.0	S/C	24.1
64	Ingenio Queseria, S.A. de C.V.	COL	03-Occidental	U.P.C.	5.5	S/C	25.4
65	Ingenio San Jose de Abajo, S.A. de C.V.	VER	02-Oriental	U.P.C.	8.0	S/C	6.8
66	Ingenio San Miguel del Naranjo, S.A. de C.V.	SLP	03-Occidental	U.P.C.	49.3	49.3	93.4
67	Ingenio San Nicolas, S.A. de C.V.	VER	02-Oriental	U.P.C.	14.4	14.4	44.7
68	Ingenio Santa Clara, S.A. de C.V.	MICH	03-Occidental	U.P.C.	9.1	S/C	12.6
69	Nacional Financiera, Sociedad Nacional de Crédito, Institución de Banca de desarrollo, Como Fiduciaria En El Fideicomiso Ingenio Casasano	MOR	01-Central	U.P.C.	3.4	S/C	4.9
70	Santa Rosalia de La Chontalpa S.A. de C.V.	TAB	02-Oriental	U.P.C.	25.2	25.2	16.4
Total					759.8	295.2	1,369.2

Fuente: SENER.

En México los residuos orgánicos y en general la biomasa tiene un importante potencial de generación de biogás para la producción de energía eléctrica o para uso vehicular, situación que se estima similar para la biomasa forestales y la elaboración de pellets para la generación de calor o energía eléctrica.

Existe un considerable potencial de capacidad y generación para la bioenergía. Para el escenario 1, la capacidad instalable es de 1,097.0 MW y la generación es de 7,694.0 GWh. Sin embargo, bajo el escenario 3, se presenta un mayor nivel como se muestra en cuadro a continuación.

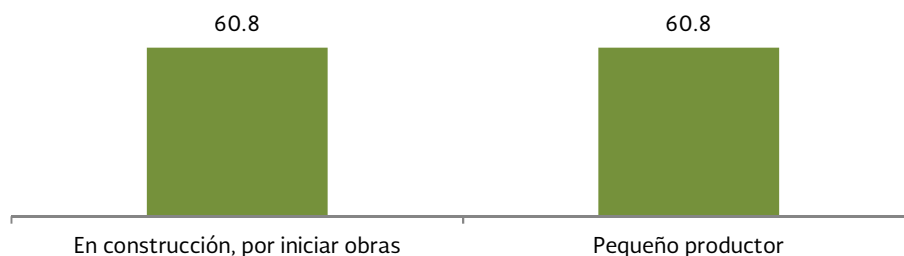
CUADRO 2. 12. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES CON ESCENARIOS DE LA BIOENERGÍA
(MW, GWh)

Escenario	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
1	1,097.0	7,694.0
2	1,231.0	8,631.0
3	1,478.0	10,365.0
4	125.0	986.0

Fuente: SENER.

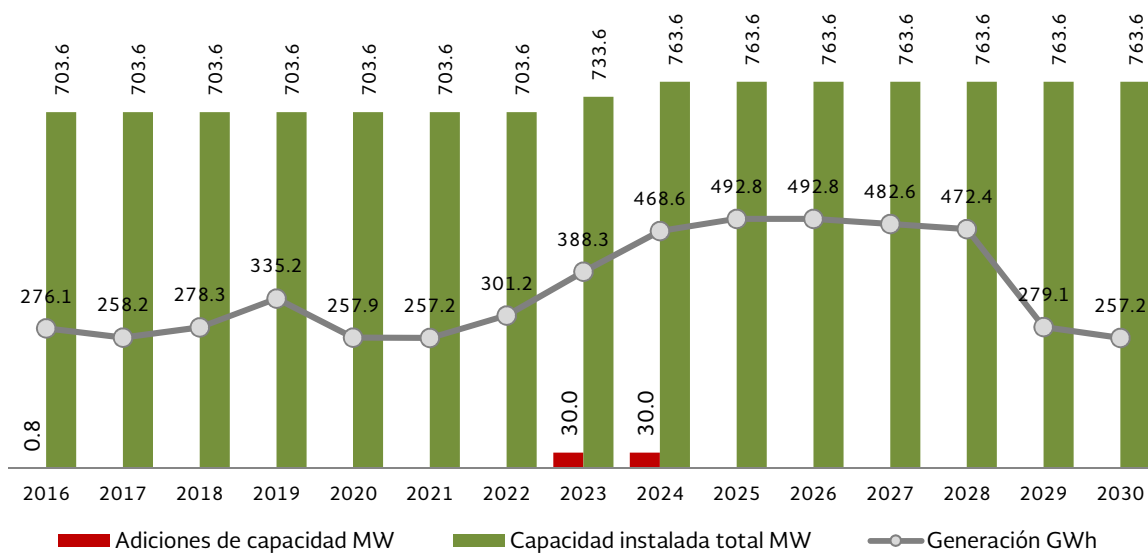
Entre 2016 y 2030, se adicionará 60.8 MW de capacidad de generación eléctrica. De esta cantidad todos los proyectos se encuentran en construcción o por iniciar obras y corresponden a la modalidad de pequeño productor como se muestra en las figuras a continuación.

FIGURA 2. 33. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DEL PROYECTO Y MODALIDAD DE TECNOLOGÍA DE BIOENERGÍA, 2016-2030
(MW)



Fuente: SENER.

FIGURA 2. 34. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOENERGIA 2016-2030
(MW, GWh)



Fuente: SENER.

2.5. Biocombustibles para el Sector Transporte

Las principales tecnologías para la producción de biocombustibles son: El bioetanol se produce por la fermentación de la glucosa contenida en algunos productos agrícolas (caña de azúcar, remolacha, maíz) y la producción de biodiésel por transesterificación de aceites derivados de cultivos oleaginosos, aceites residuales orgánicos, grasas y gas natural a partir del biogás de rellenos sanitarios o plantas de biodigestión..

Los avances que México presenta al 2016 en biocombustible se centran principalmente en el diseño y fortalecimiento de la política pública para fomentar la producción y uso de biocombustibles e introducirlo en la gama de productos que diversifiquen la matriz energética del país.

Para ello, y a través de la Comisión Intersecretarial para la Introducción de Bioenergéticos, presidida por la Secretaría de Energía, en colaboración con Pemex implementan el uso de etanol anhidro en gasolinas a través de una prueba de concepto que considera que una mezcla al 5.8% de etanol anhidro en gasolinas Magna en Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz. La prueba tiene una duración de 10 años donde se comercializaría un volumen máximo de 2,221.5 millones de litros.

Según su origen y tecnología de procesamiento, los recursos de biomasa para producir biodiésel se pueden dividir en 1ª, 2ª y 3ª generación. Los recursos de primera generación son ácidos grasos, contenidos en los lípidos sintetizados por vegetales y animales (principalmente, los aceites vegetales de las semillas y frutos oleaginosos). Los de segunda generación son materiales lignocelulósicos vegetales, residuales o cultivados, cuyos hidratos de carbono pueden ser transformados a alcanos de C10 a C12 por diversas vías tecnológicas (síntesis Fischer-Tropsch, hidrólisis seguida de reforma o isomerización e hidrotratamiento). Los de tercera generación son cultivos de microorganismos seleccionados o modificados para producir ciertas moléculas precursoras de biodiésel (lípidos y ácidos grasos).

2.5.1. Cadena de valor y costos actuales de producción del biodiésel en México

Actualmente, en México el biodiesel puede producirse a partir de los siguientes insumos: a) aceites usados y grasas¹⁹; y b) aceites vegetales crudos. Sin embargo, la única cadena de valor que opera es la de aceites usados y grasas, ya que la producción a partir de aceites crudos no se ha podido sostener a costos competitivos.

¹⁹ Las grasas animales utilizables para producir biodiésel son de varios orígenes y calidades: las más abundantes provienen de procesos de “rendering” utilizados para obtener harinas de carne, harinas de huesos, harinas de plumas y otros coproductos a partir de los residuos de las industrias cárnicas como son sebos, huesos, vísceras, tocinos, pellejos, cueros y otros. Algunas son grasas “primarias” y otras son “secundarias” o recicladas.

CUADRO 2. 13. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LAS CADENAS DE PRODUCCIÓN A PARTIR DE ACEITES USADOS Y GRASAS

Insumo	Aceites usados	Grasas animales
Factores que intervienen en la cadena de producción	- Productores de materia prima: Usuarios de aceites para la cocina - sus prácticas de uso y de separación de aceites usados definen los niveles de recuperación posibles y la calidad de la materia prima; - Recolectores: Su nivel de organización y eficiencia impactan en los costos finales y la eficacia de la recolección; - Acopiadores y procesadores: acumulan y refinan los aceites usados (Muchos de ellos también son elaboradores); - Elaboradores de biodiésel: se especializan en la conversión de aceites a biodiésel, en la disposición final de los coproductos y residuos (glicerina y efluentes finales), y en la distribución comercial del biodiésel.	- Productores de materias primas: Rastros, graserías, procesadores de derivados de cerdo (como carnitas, chicharrón y manteca); - Recolectores de grasas de carnicería; - Elaboradores de biodiésel.

Capacidad Instalada

México cuenta con plantas de biodiésel que en conjunto poseen una capacidad de producción de 4,182 m³/a, a escala demostrativa, que se encuentran operando o próximas a iniciar operaciones (véase cuadro 2.14.)

CUADRO 2. 14. PLANTAS COMERCIALES DE BIODIÉSEL

Nuevas plantas con apoyos de SAGARPA				capacidad	Apoyo	Aporte	Total	Insumo	
Programa	Año	Estado	Beneficiario	m ³ /a	MDP	MDP	MDP		\$/m3
Bio-economía	2,010.0	PUE	GRIMA Biodiésel	90.0	1.8	4.2	6.0	Aceite usado	66,667.0
PEF	2,011.0	PUE	PROBIORAM	950.0	2.8	6.6	9.4	Grasa Animal	9,895.0
PEF	2,014.0	BC	ENRIMEX	74.0	10.5	10.7	21.2	Higuerilla	286,486.0
PEF	2,015.0	DUR	Coop. Agr. Luz Michell	1,440.0	1.5	1.9	3.4	Grasa Animal	2,361.0
PEF	2,015.0	MEX	BIORECEN	628.0	7.7	3.1	10.8	Grasa Animal	17,197.0
PEF	2,015.0	OAX	RICINOMEX	1,000.0	0.8	0.8	1.6	Higuerilla	1,600.0
			TOTAL	4,182.0	25.1	27.3	52.4		

Fuente: Datos de SAGARPA, 2015

Además, existen 4 empresas dedicadas a recolectar aceite de cocina usado para la producción de biodiésel:

1. Reoil México recolecta ARUC (Aceite Residual Usado de Cocina).- opera principalmente en la Ciudad de México y Toluca; produce "Pre TPO" (Pre aceite técnico de planta), que exporta a la Unión Europea donde se lo procesa para biodiésel. Cuenta con 2 plantas en Europa;

2. MORECO.- recolecta aceite usado de cocina y lo transforma en biodiésel. Trabaja en Michoacán, Guanajuato y Querétaro. Tiene 3 plantas instaladas, una en cada estado. Procesa de 100 a 200 m³/a;
3. Biofuels de México.- recolecta aceite usado de cocina y produce biodiésel en Puebla, Toluca, Cuernavaca, Tlaquepaque, Zapopán, Tonalá, Veracruz, Córdoba, Xalapa, Boca del Río, Querétaro, Cancún, Playa del Carmen, Chetumal. Produce 288 m³/a, la cantidad máxima es de 3 m³/día;
4. SOLBEN, de Monterrey (Nuevo León).- recolecta aceite usado de cocina, produce biodiésel, vende plantas de biodiésel y presta servicios como caracterización de semillas y aceites, soporte técnico, automatización y análisis de calidad del biodiésel. La capacidad de producción de su planta es de 80 m³/mes o 960 m³/año.

3 plantas de producción de biodiésel han cesado operaciones:

1. En Cadereyta, Nuevo León, establecida en 2005 por el Grupo Energéticos con participación del ITESM Campus Monterrey, utilizaba grasas animales (sebo de res y grasa de pollo) y aceites vegetales de desecho. Su capacidad instalada era de 18,000 m³ / año. Dejó de operar en 2011.
2. En Lázaro Cárdenas, Michoacán, se instaló una planta anexa a una fábrica de aceite vegetal, con capacidad de 9,000 m³/año. Fue inaugurada en 2007 y debía utilizar *Jatropha curcas* e higuerrilla; por falta de producción de esos cultivos, cerró en 2008.
3. En Chiapas en 2010, el Instituto de Bioenergéticos de Chiapas instaló una planta de 10,000 m³/a. Utilizaría *Jatropha curcas*, pero no hubo producción de semillas. Cerró operaciones en 2011.

Costos de producción de biodiésel a partir de aceites usados

Para el cálculo de los costos se consideraron dos opciones que actualmente existen en el país:

1. La empresa paga un precio establecido por el aceite usado “puesto en fábrica de biodiésel” (existen recolectores independientes que se encargan de llevarlo a la fábrica).- En México se reporta que se pagan entre 7.00 y 8.00 \$MN/L por aceite usado puesto en puerta de fábrica y que la relación de conversión de aceite a biodiésel es 1:1 (en volumen). El aceite es el principal componente (55%) del costo de producción del biodiésel de aceites usados, el cual se estima totaliza \$13.72 pesos.

CUADRO 2. 15. COSTOS DE PRODUCCIÓN CON ACEITE PUESTO EN FÁBRICA

Concepto	Costos
Aceite reciclado (puesto en planta)	7.5
Electricidad	0.2
Gas LP	0.2
Metanol	1.5
Operación y Mantenimiento	3.6
Hidróxido de potasio (KOH)	0.3
Recuperación de Inversión	0.5
Total	13.7

Fuente: REMBIO (2016) en base a encuestas con dos empresas de biodiésel en 2016.

2. La empresa se encarga de la recolección del aceite usado y paga un precio en origen.- La empresa elaboradora de biodiésel paga 2 pesos por cada litro de aceite recibido, y asume los costos de recolección. El costo de producción estimado para esta opción es de \$11.10 pesos por litro.

CUADRO 2. 16. COSTOS DE PRODUCCIÓN CON RECOLECCIÓN DE ACEITE
(\$MN/L)

Concepto	Costo
Aceite reciclado	2.0
recolección	2.8
Electricidad	0.2
Gas LP	0.2
Metanol	1.5
Hidróxido de potasio	0.3
Operación y Mantenimiento	3.6
Recuperación de Inversión	0.5
Total	11.1

Fuente: REMBIO (2016), en base a datos de encuesta a empresas de biodiésel.

Costos de producción de biodiésel a partir de grasas

El principal componente del costo de producción de biodiésel a partir de grasas animales es el costo de la materia prima. De acuerdo con estimaciones, el sebo de res se paga de 8 a 12 pesos por kg a puerta de fábrica, y por la grasa de cerdo el precio es de 12 a 20 pesos por kg.

CUADRO 2. 17. COSTOS DE PRODUCCIÓN A PARTIR DE SEBO DE RES
(\$MN/L)

Concepto	Costo
Sebo (puesto en planta)	8.0-12.0
Electricidad	0.2
Gas LP	0.2
Metanol	1.5
Hidróxido de potasio	0.3
Mano de obra	3.4
Operación y Mantenimiento	0.2
Recuperación de Inversión	0.5
Total	14.22-18.22

Fuente: REMBIO (2016), en base a datos de encuesta a una empresa de biodiésel

2.5.2. Recurso para la producción de biodiésel

Estado del sector y recursos disponibles para la producción de biodiésel

Las principales materias primas actualmente disponibles para producir biodiésel en México son los aceites de cocina usados. Hay una incipiente actividad comercial de recolección y procesamiento, con capacidad instalada de menos de dos mil m³/a y que todavía opera en gran medida de modo informal. El potencial de expansión para el sector es amplio, ya que se podría obtener desde 120 mil hasta 360 mil m³/a en las ciudades de más de 100 mil habitantes si se alcanzara una tasa de recuperación del 10% al 30% del consumo aparente. Los costos estimados para el biodiésel producido con aceites usados van de 11.12 a 13.70 \$MN/litro.

La posibilidad de producir biodiésel con grasas animales existe técnicamente, ya que se obtienen en el país entre 176 y 215 mil t/año, que podrían convertirse a biodiésel con una producción de 154 a 194 mil m³/a. Sin embargo, los precios de las grasas animales son elevados (de 8 a 12 \$MN/kg para el de sebo de res, y de 12 a 20 \$MN/kg para la de grasa de cerdo) por lo cual los costos de producción de biodiésel se estiman entre 14 y 26 \$MN/litro.

A día de hoy no existen excedentes de aceites crudos para producir biodiésel en México. La producción nacional de aceites vegetales depende de la importación de oleaginosas (o de aceites crudos). En México se cosechan tres cultivos oleaginosos principales: soja, palma y coco. De éstos se obtuvieron unas 271 mil t (o 300 mil m³) de aceites vegetales crudos en 2014. El consumo nacional aparente de aceites fue de 3.4 millones de m³ en 2014, por lo cual la producción nacional de estas materias primas solo cubrió el 9% de la demanda y se importaron semillas oleaginosas y aceites por un 91% de lo consumido.

La tendencia de producción de oleaginosas en México es creciente y, si continuara al mismo ritmo que presentó en la última década, se podrían producir 350 mil ton de aceite en 2020 y 560 mil en 2030, equivalente a cubrir en torno a una sexta parte del consumo nacional de aceites con la cosecha nacional de oleaginosas.

Existe la posibilidad técnica de expandir algunos cultivos oleaginosos de modo más intenso, para producir biodiésel en plantaciones dedicadas a esta finalidad. Para no competir con la producción de alimentos y respetar los principios establecidos en la LPDB, solamente se podrían utilizar tierras de pastizales (de uso actual no agrícola y no forestal). Las tierras de pastizales son abundantes, pero pocas de ellas tienen las condiciones ambientales (de suelo, clima, topografía) propias de sitios con alta calidad productiva. Para el cultivo de más alta productividad, que es la palma de aceite, las tierras más aptas se concentran en el trópico húmedo del Sureste. Las aptas para el coco se limitan a las costas del Pacífico Sur-central y del Golfo de México. Las restantes oleaginosas (soja, girasol, higuera, jatropha) pueden cultivarse con rendimientos medios o altos en muchas áreas que tengan precipitación mayor a 900 mm durante el ciclo del cultivo y moderadas limitaciones de suelo y pendiente del terreno.

Debe notarse que al establecer cultivos en tierras cuya productividad real es menor que la máxima de ese cultivo, los costos de producción unitarios aumentan a medida que se reduce la aptitud del terreno. Asumiendo que los nuevos cultivos se expanden sólo en las tierras que corresponden a las primeras dos clases de costo de producción (con costo de materia prima hasta 15 \$MN/L), se podría obtener hasta 4.4 millones de m³ de aceite por año (equivalente a ~4.4 millones de m³ de biodiésel), ocupando 3.5 millones de hectáreas, con costos de materias primas entre 6.29 y 12.17 \$MN/L de aceite equivalente. Si se continuara la expansión incluyendo las otras tres clases de costo más caras (hasta 30 \$MN/L) sería posible aumentar la producción hasta un total de 5.3 millones de m³/año, pero con costos marginales marcadamente crecientes (desde 17.87 hasta 27.93 \$MN/L).

El área total de pastizales en México es de unos 13 millones de hectáreas. La conversión de pastos a cultivos de oleaginosas en las áreas de mayor productividad y menor costo de producción (hasta 1.9 millones de hectáreas) resultaría en una oferta de biodiesel de hasta 3.2 millones de m³/a. Ésta opción no tendría efectos muy importantes sobre la disponibilidad de pastos para la cría de ganado (especialmente de

bovinos). Sin embargo, expansiones ulteriores del área cultivada resultarían en mayores costos unitarios de biodiésel y podrían aumentar sensiblemente el impacto negativo sobre la ganadería.

Por otro lado, existen abundantes recursos lignocelulósicos disponibles, como residuos agrícolas o coproductos agroindustriales y forestales, que en el futuro podrían utilizarse para obtener biodiésel de segunda generación cuando las tecnologías de conversión hayan alcanzado su madurez comercial y resulten competitivas.

En términos de infraestructura de conversión de aceites crudos a biodiésel, ésta se limita a un reducido número de plantas de demostración de muy pequeña escala. Se identificaron tres plantas de producción de biodiésel que llegaron a operar comercialmente y han cesado operaciones en los últimos años por diversos motivos. En la actualidad operan – o están a punto de entrar en operación – seis plantas de pequeña escala, implantadas con apoyo económico de la SAGARPA. La capacidad total de producción de biodiésel de estas plantas es inferior a los 5,000 m³ al año.

Una fuerte penetración del biodiésel es altamente improbable bajo un escenario tendencial. Dado que los costos de producción de biodiésel son superiores a su alternativa fósil, la introducción del biodiésel en el mercado se ha de inducir a través de la adopción de políticas de apoyo, que tendrán en cualquier caso un costo económico directo. Este costo es dependiente de múltiples factores como la cuota de mercado de biodiésel deseada o la evolución futura de los precios internacionales del petróleo, entre otros.

Potencial de producción de biodiésel a partir de cultivos actuales

Datos históricos de superficie y producción de cultivos oleaginosos²⁰

Actualmente, los cultivos oleaginosos son las fuentes más importantes de ácidos grasos a nivel global. Los rendimientos industriales de estos cultivos, se muestran en el cuadro 2.18. Los factores de conversión de semilla a aceite son un promedio del rendimiento industrial para la tecnología de extracción por presión (salvo los casos de soja y girasol, donde se realizan dos extracciones secuenciales, la primera por presión y la segunda por disolvente orgánico).

CUADRO 2. 18. RENDIMIENTO EN ACEITE DE CULTIVOS OLEAGINOSOS

	Jatropha	Higuerilla	Canola	Girasol	Coco	Palma	Soja
Materia prima	semilla	semilla	semilla	grano	fruto seco	Racimos con frutos frescos	
t aceite / t materia prima	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2
m ³ aceite / t materia prima	0.4	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.2

Fuente: REMBIO

En México, el área cosechada, rendimiento por hectárea y producción de oleaginosos han variado mucho en el periodo de 2005 a 2014. Se puede caracterizar un grupo de cultivos “nuevos” que no tienen todavía una tendencia clara, un segundo grupo de cultivos “menores” que permanece estancado o con tendencia a la baja, y un tercer grupo de cultivos “dinámicos” que aumenta las áreas cultivadas, incrementa sus rendimientos, e incrementa la producción.

1. Cultivos “nuevos”, está integrado por el piñón mexicano (*Jatropha curcas*) y la higuerilla (*Ricinus communis*). Sus aportes a la producción nacional de aceites son mínimos, y sus tendencias aún indefinidas.

²⁰ Esta sección se basa en las estadísticas oficiales de SAGARPA, obtenidas por consultas al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

CUADRO 2. 19. TENDENCIA DECENAL DE LOS CULTIVOS DE JATROPHA (ARRIBA) E HIGUERILLA

AÑO	Superficie (ha)	Producción semilla (t)	Equivalente Aceite (m3)
Jatropha			
2013	1,014	1,705	648
2014	50	37	14
Higuerilla			
2006	0	0	0
2007	5	1	0
2008	6	9	0
2009	5	4	0
2010	7	4	3
2011	5	4	1
2012	0	0	1
2013	n.d.	n.d.	

n.d. no disponible

Fuente: REMBIO en base a datos de SIAP.

2. Cultivos “menores”, está integrado por la canola (*Brassica rapa*) y el girasol (*Helianthus annuus*). La canola presentó una reducción en la última década, tanto en su área cosechada, como su producción, derivado de sus bajos rendimientos y a que no puede competir con la semilla importada de Canadá. El girasol por su parte, parece haber encontrado un nicho de mercado de mejores precios como especialidad.

CUADRO 2. 20. TENDENCIA DECENAL DE LOS CULTIVOS DE CANOLA Y GIRASOL

Canola				Girasol			
AÑO	Superficie (Ha)	Producción (t)	Eq. Aceite (m3)	AÑO	Superficie (Ha)	Producción (t)	Eq. Aceite (t)
2004	1,228.0	2,105.0	800.0	2004	90.0	232.0	111.0
2005	3,794.0	5,162.0	1,962.0	2005	22.0	31.0	15.0
2006	5,182.0	7,849.0	2,983.0	2006	175.0	178.0	85.0
2007	2,523.0	3,979.0	1,512.0	2007	3.0	7.0	3.0
2008	2,422.0	3,849.0	1,462.0	2008	4.0	5.0	3.0
2009	2,181.0	3,221.0	1,224.0	2009	216.0	332.0	158.0
2010	6,138.0	7,544.0	2,867.0	2010	1,879.0	3,797.0	1,815.0
2011	2,851.0	3,531.0	1,342.0	2011	1,850.0	2,826.0	1,351.0
2012	2,857.0	3,348.0	1,272.0	2012	1,280.0	1,308.0	625.0
2013	1,791.0	2,871.0	1,091.0	2013	3,610.0	4,546.0	2,173.0
2014	1,495.0	1,946.0	739.0	2014	14,729.0	16,559.0	7,915.0

Fuente: REMBIO en base a datos de SIAP.

3. Cultivos “dinámicos”, integrado por coco (*Cocos nucifera*), palma aceitera (*Elaeis guineensis*) y soja (*Glycine max*). Estos tres cultivos tuvieron una tendencia clara de aumento del área cosechada y/o de la producción en la última década²¹.

CUADRO 2. 21. TENDENCIA DECENAL DE LOS CULTIVOS DE COCO, PALMA ACEITERA Y SOJA

Coco				Palma aceitera				Soja			
AÑO	Superficie (Ha)	Producción (t)	Eq. Aceite (m3)	AÑO	Superficie (Ha)	Producción (t)	Eq. Aceite (m3)	AÑO	Superficie (Ha)	Producción (t)	Eq. Aceite (m3)
2004	14,154.0	90,704.0	15,873.0	2004	17,836.0	247,905.0	64,703.0	2004	88.8	133.3	24.0
2005	12,980.0	106,168.0	18,579.0	2005	18,376.0	219,270.0	57,229.0	2005	96.1	187.0	33.7
2006	11,978.0	102,231.0	17,890.0	2006	22,033.0	309,582.0	80,801.0	2006	54.2	81.1	14.6
2007	13,111.0	105,390.0	18,443.0	2007	23,804.0	292,499.0	76,342.0	2007	62.6	88.4	15.9
2008	13,228.0	102,240.0	17,892.0	2008	25,918.0	307,757.0	80,325.0	2008	75.8	153.0	27.5
2009	13,154.0	100,800.0	17,640.0	2009	28,239.0	367,084.0	95,809.0	2009	64.7	120.9	21.8
2010	13,315.0	106,881.0	18,704.0	2010	31,804.0	438,172.0	114,363.0	2010	153.5	167.7	30.2
2011	13,409.0	110,867.0	19,402.0	2011	32,701.0	507,011.0	132,330.0	2011	155.5	205.2	36.9
2012	14,077.0	165,723.0	29,002.0	2012	34,249.0	462,662.0	120,755.0	2012	142.3	247.5	44.6
2013	14,099.0	189,313.0	33,130.0	2013	46,094.0	567,554.0	148,131.0	2013	157.4	239.2	43.1
2014	14,833.0	178,833.0	31,296.0	2014	50,868.0	678,935.0	177,202.0	2014	205.6	387.4	69.7

Fuente: REMBIO en base a datos de SIAP

Potencial de producción de biodiésel a partir de la expansión de cultivos actuales

Para el cálculo de la expansión de cultivos de oleaginosas (palma, coco, soja, girasol, higuera, jatropha) destinados específicamente a la producción de aceites para biodiesel, se asume que los terrenos donde se expandirán los cultivos están actualmente ocupados por pastizales. Lo anterior con base en los lineamientos de la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos. El área total de pastizales es de cerca de 13 millones de hectáreas (véase figura 2.36)

²¹ El área cosechada de coco se mantuvo relativamente constante en unas 13-14 mil hectáreas en toda la década, sin embargo, se registró un salto en la productividad a partir del año 2012, que probablemente sea debido a un cambio en la metodología de toma de datos a campo por parte del SIAP. Por ello, el aumento del rendimiento reportado a partir del año 2013 podría ser sólo aparente.

FIGURA 2. 35. ÁREAS APTAS PARA LA EXPANSIÓN DE CULTIVOS OLEAGINOSOS



Fuente: REMBIO (2016), con datos de INEGI serie 5.

El cálculo de la superficie se realizó a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Además, para los seis cultivos analizados (palma, coco, soja, girasol, higuera, jatropha), se utilizaron la producción de semilla y aceite equivalente; costos totales y unitarios en 1496 grupos de polígonos²² con cobertura actual de pastizales. Se obtuvieron 908 grupos de polígonos con aptitud ambiental para establecer cultivos oleaginosos, asignándose a cada uno de ellos el cultivo viable de menor costo unitario. A partir de ello, se obtuvo un rango útil de costos de producción de 5.19 a 29.76 \$MN/L de aceite equivalente, formulándose una base de datos de polígonos de costos crecientes, que se dividió en 5 “clases de costo” (hasta 10\$MN/L; 10 a 15\$MN/L; 15-20 \$MN/L; 20 a 25 \$MN/L; 20-25 \$MN/L).

En el cuadro 2.22 se presenta la superficie, producción de aceite por clase de costo y cultivo y costo por volumen de aceite contenido en la materia prima.

CUADRO 2. 22. POTENCIAL DE EXPANSIÓN, PRODUCCIÓN Y COSTOS DE CULTIVOS OLEAGINOSOS PARA BIODIÉSEL

Clase de Costo	CULTIVO	Superficie (ha)	Producción aceite (m3)	Costo (\$MN/a)	Costo Unitario \$MN/m3 aceite
	Coco	525,565.0	1,363,419.0	8,327,789,484.0	6,108.0
	Palma	522,799.0	1,579,543.0	10,049,816,430.0	6,362.0
	Soja	827,428.0	306,512.0	2,077,177,599.0	6,776.0
5 a 10 \$MN/L		1,875,791.0	3,249,474.0	20,454,783,513.0	6,294.0
	Soja	892,608.0	279,535.0	3,321,832,391.0	11,883.0
	Palma	635,021.0	701,856.0	8,382,801,890.0	11,943.0

²² Unidad menor de análisis en un Sistema de Información Geográfica basado en archivos vectoriales, representando una fracción de la superficie terrestre.

	Coco	121,115.0	153,909.0	2,112,791,938.0	13,727.0
10 a 15 \$MN/L		1,648,743.0	1,135,301.0	13,817,426,219.0	12,170.0
	Coco	21,143.0	21,937.0	374,782,383.0	17,084.0
	Palma	393,096.0	266,780.0	4,662,142,742.0	17,475.0
	Soja	41,850.0	11,074.0	198,725,298.0	17,945.0
	Girasol	270,708.0	209,625.0	3,865,650,894.0	18,440.0
15 a 20 \$MN/L		726,797.0	509,415.0	9,101,301,317.0	17,866.0
	Soja	23,574.0	5,781.0	121,600,355.0	21,034.0
	Coco	86,308.0	71,513.0	1,551,718,206.0	21,698.0
	Palma	49,685.0	25,237.0	562,605,057.0	22,292.0
	Higuerilla	333,162.0	109,909.0	2,572,591,632.0	23,406.0
	Girasol	2,056.0	1,239.0	29,743,973.0	24,014.0
20 a 25 \$MN/L		494,785.0	213,678.0	4,838,259,223.0	22,642.0
	Higuerilla	124,213.0	35,123.0	938,493,357.0	26,720.0
	Coco	2,554.0	1,703.0	46,420,233.0	27,251.0
	Palma	201,234.0	79,555.0	2,207,447,706.0	27,747.0
	Girasol	30,995.0	16,001.0	451,133,931.0	28,194.0
	Soja	272,992.0	56,448.0	1,630,110,367.0	28,878.0
25 a 30 \$MN/L		631,988.0	188,830.0	5,273,605,594.0	27,927.0

Fuente: REMBIO.

El cultivo de jatropha no recibió asignación de tierras, ya que todos los polígonos presentaron algún otro cultivo con mayor productividad, con menor costo, o con una combinación de ambos.

El potencial de producción de aceite resultante se organizó en las cinco clases de costo definidas anteriormente. Los resultados de potencial, tanto en hectáreas ocupadas como en m³ de aceite/año se presentan en la siguiente figura 2.37

FIGURA 2. 36. SUPERFICIE PARA PRODUCCIÓN DE ACEITES, POR CLASES DE COSTO DE MATERIAS PRIMAS

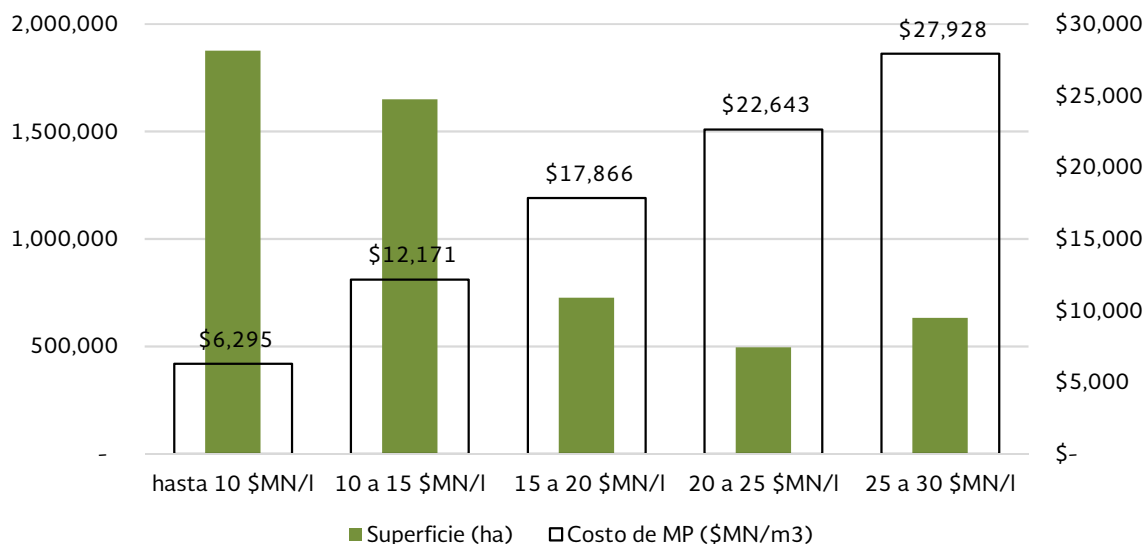
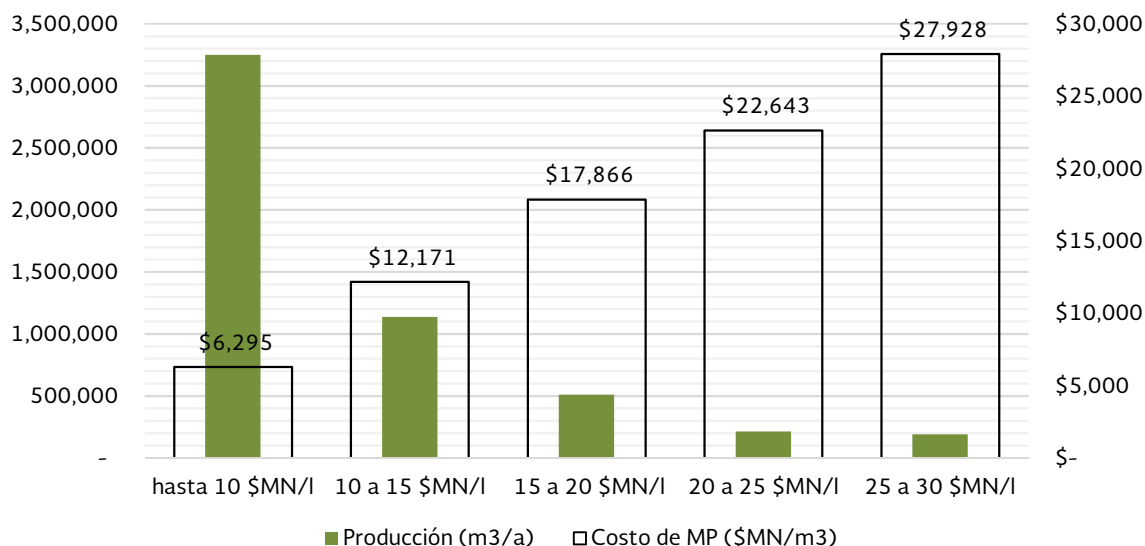


FIGURA 2. 37. PRODUCCIÓN DE ACEITES, POR CLASES DE COSTO DE MATERIAS PRIMAS



En el cuadro 2.23 se presentan los valores acumulados, obtenidos al sumar las clases de costos crecientes, y los costos medios que resultan de los incrementos sucesivos del área cultivada para obtener materias primas oleaginosas

Los resultados hasta este punto presentan los costos de la fase agrícola del proceso de producción, los cuáles no incluyen el transporte de la cosecha a las plantas de extracción de aceite, ni su transformación a biodiésel, pero si consideran la recuperación de costos por venta de coproductos.

CUADRO 2. 23. VALORES ACUMULADOS DE SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y COSTOS DERIVADOS DE LA EXPANSIÓN DE CULTIVOS PARA BIODIÉSEL

Clases de costo unitario (\$MN/L)	Superficie (ha)	Producción (m3/a)	Costo (\$MN/a)	Costo medio \$MN/m3)
De 5 a 10	1,875,791.0	3,249,474.0	20,454,783,513.0	6,295.0
De 10 a 15	3,524,534.0	4,384,774.0	34,272,209,732.0	7,816.0
De 15 a 20	4,251,331.0	4,894,189.0	43,373,511,049.0	8,862.0
De 20 a 25	4,746,116.0	5,107,868.0	48,211,770,272.0	9,439.0
De 25 a 30	5,378,104.0	5,296,697.0	53,485,375,866.0	10,098.0

Las tierras aptas para la expansión de cultivos de oleaginosas con costos de producción agrícolas menores a 30,000 \$MN/m3 de aceite equivalente se muestran en la Figura 21 donde se aprecia que son una fracción pequeña de las tierras totales de pastizal y que se concentran en las regiones de mayor precipitación y con temperaturas más altas del país.

FIGURA 2. 38. SUPERFICIE DE PASTIZALES EN MÉXICO (ARRIBA) Y AQUELLOS APTOS PARA EXPANSIÓN DE CULTIVOS DE OLEAGINOSAS (ABAJO)





Fuente: REMBIO, con datos de INEGI

El cálculo de los costos de producción para cada tipo de cultivo oleaginoso se detalla en los cuadros y. Los datos de costos se presentan en valores de 2014 según la tasa de cambio promedio de \$MXN a USD del año de referencia en cada caso. Estos se introdujeron al SIG para calcular los costos equivalentes de aceite en cada polígono. Los polígonos donde el costo de producción calculado superó a 30,000 \$MXN/m³ de aceite equivalente no se incluyeron.

CUADRO 2. 24. COMPONENTES DE COSTO DE PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA ACEITES²³
(\$MXN de 2014)

		Palma	Coco	Soja	Girasol	Jatropha	Higuera
Fuente		INIFAP, 2011	INIFAP, 2011	FUPRO Camp, 2013	FIRA, 2014	SAGARPA, 2015	SAGARPA, 2015
Año Base		2010	2010	2013	2014	2014	2014
ESTABLECIMIENTO	\$/ha	37,435	77,527	8,129	13,106	19,278	6,629
Vida Útil	años	30	30	1	1	10	1
Amortización del Establecimiento	\$/ha/a	1,247.8	2,584.2	8,128.8	13,106	1,927.8	6,629
MANTENIMIENTO	\$/ha/a	6,586	14,734	*	*	12,578	*
RENTA DEL SUELO	\$/ha/a	1,400	700	1,800	2000	700	1,000
Subtotal Costos FIJOS	\$/ha/a	9,234	18,018	9,929	28,213	15,206	14,259
Factor actualización a 2014		1.1	1.1	1	1	1	0.8
Costos Fijos a 2014	\$/ha/a	9,727	18,980	10,343.7	28,213	15,205.8	11,944.5

Fuente: REMBIO, compilado a partir de diversas, mostradas en encabezado

²³ Estos costos se refieren a la fase agrícola del proceso de producción, que no incluyen el transporte de la cosecha a las plantas ni el costo de extracción de aceite. Los costos se expresan en \$MXN por litro de aceite extraíble, considerando la recuperación de costos por venta de los coproductos de la extracción de aceites.

CUADRO 2. 25. COSTOS FINALES DE PRODUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA ACEITES
(\$MN de 2014)

CULTIVO		Palma	Coco	Soja	Girasol	Jatropha	Higuerilla
COSTOS FIJOS	\$/ha	9,727	18,980	10,344	28,213	12,794	11,944
Cosecha y acarreo	\$/t	832	182	850	750	2,412	1,600
Rendimientos							
Rendimiento Alto	t/Ha	14	13.1	1.9	2.2	0.8	1.2
Rendimiento Medio	t/Ha	11.9	10.3	1.5	1.5	0.6	0.9
Rendimiento Bajo	t/ha	7	6.6	0.9	1.1	0.4	0.6
Costos Brutos							
Costo Bruto, rendimiento ALTO	\$MN/Ha	21,374	21,370	11,951	29,833	14,707	13,888
Costo Bruto, rendimiento MEDIO	\$MN/Ha	19,665	20,847	11,637	29,367	14,171	13,405
Costo Bruto, rendimiento BAJO	\$MN/Ha	15,550	20,175	11,147	29,023	13,750	12,916
Ingresos por coproducto							
Ingreso por coproducto R. ALTO	\$/t	784	5534	9531	2722	s.d.	s.d.
Ingreso por coproducto R. MEDIO	\$/t	669	4322	7671	1939	s.d.	s.d.
Ingreso por coproducto R. BAJO	\$/t	392	2767	4765	1361	s.d.	s.d.
Costo neto							
Costo neto R. ALTO	\$/Ha	20,590	15,836	2,420	27,111	14,707	13,888
Costo neto R. MEDIO	\$/Ha	18,996	16,524	3,967	27,428	14,171	13,405
Costo neto R. BAJO	\$/Ha	15,158	17,408	6,382	27,662	13,750	12,916
Producción aceite							
Producción aceite R. ALTO	m3/ha	3.7	2.5	0.4	1.0	0.3	0.5
Producción aceite R. MEDIO	m3/ha	3.1	2.0	0.3	0.7	0.2	0.3
Producción aceite R. BAJO	m3/ha	1.8	1.2	0.2	0.5	0.2	0.2
Costo Final							
Costo final aceite eq. R Alto	\$MN/m3	5,635	6,343	6,737	26,259	48,804	30,081
Costo final aceite eq. R Medio	\$MN/m3	6,093	8,474	13,716	37,285	65,310	38,639
Costo final aceite eq. R Bajo	\$MN/m3	8,297	13,946	35,526	53,584	91,260	55,952

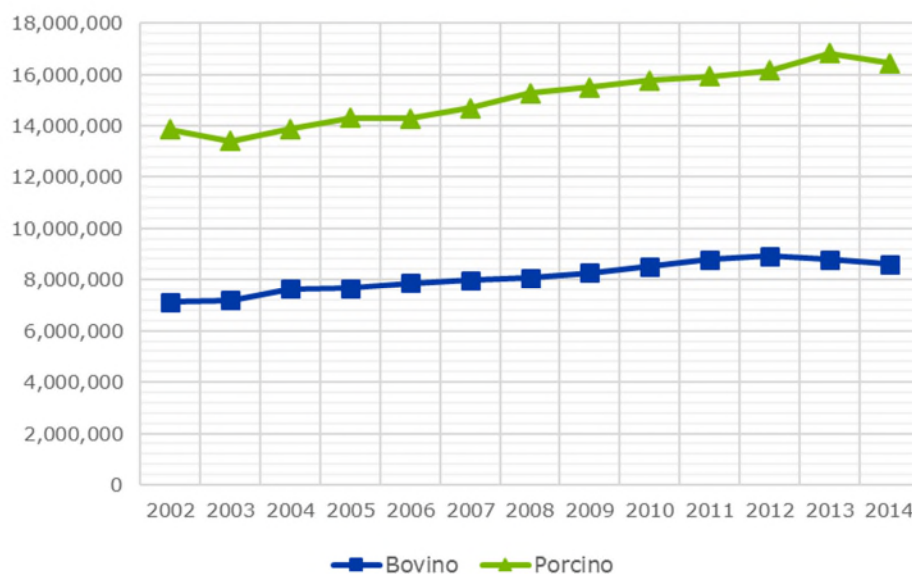
Fuente: REMBIO.

2.5.3. Potencial de producción de biodiésel de grasas animales

Para la producción de biodiésel a partir de grasas animales se pueden utilizar –entre otras– grasa de pollo, sebo de res (grasa bovina) y grasas de cerdo. Estos insumos se obtienen en los rastros como coproductos del sacrificio de animales, y también en plantas que reprocesan grasas de carnicería.

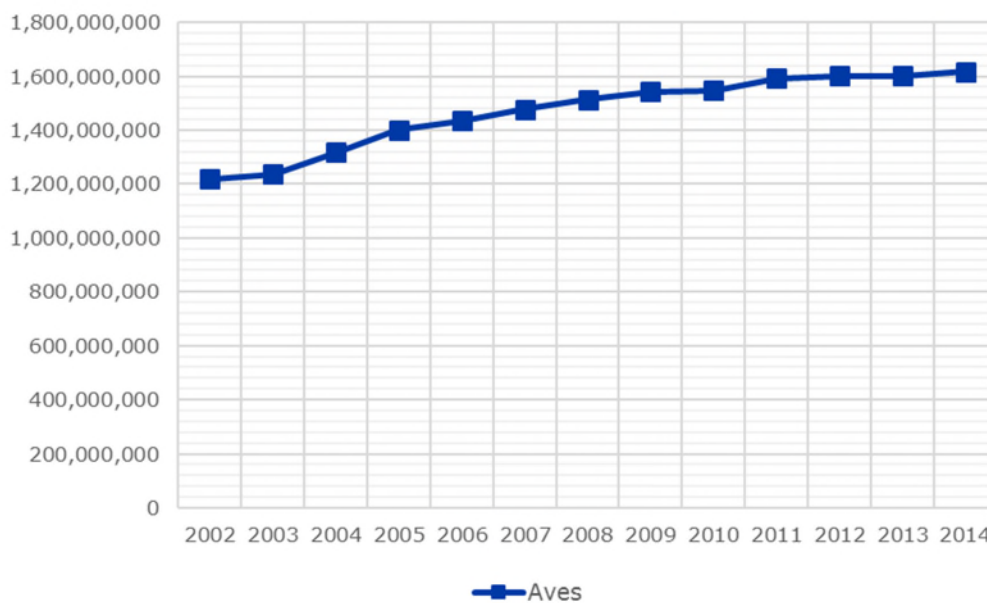
Según datos de SIAP el número de cabezas sacrificadas en los rastros de México aumentó del año 2002 al año 2012, para estabilizarse o declinar en 2013 y 2014 (véase figura 2.40 y 2.41).

FIGURA 2. 39. SACRIFICIO DE GANADO BOVINO Y PORCINO EN MÉXICO
(cabezas)



Fuente: SIAP

FIGURA 2. 40. SACRIFICIO DE AVES (POLLOS Y GALLINAS) EN MÉXICO



Fuente: SIAP

El siguiente cuadro muestra los niveles máximo y mínimo de producción de grasas animales para el año 2014. Si todas las grasas animales primarias obtenidas en México se transformaran en biodiésel, sería posible obtener entre 158 mil y 194 mil m³/a. Sin embargo, debe notarse que existen otras demandas de grasas animales primarias, que son muy utilizadas por las industrias de jabones, alimentos, aditivos de panadería, comida para mascotas, pieles, entre otras.

CUADRO 2. 26. POTENCIAL TÉCNICO DE GRASAS ANIMALES PARA BIODIÉSEL

	Animales sacrificados cabezas/año*	Kg grasa /cabeza MIN	Kg grasa /cabeza MAX	Prod. grasas kg/año MIN	Prod. grasas kg/año MAX	Equivalente Biodiésel MIN m³/a *	Equivalente Biodiésel MAX m³/a *
Bovinos	8,604,999.0	5.1	8.0	43,885,495.0	68,839,992.0	39,497.0	61,956.0
Porcinos	16,431,769.0	4.5	4.9	73,942,961.0	80,022,715.0	66,549.0	72,020.0
Aves	1,616,147,968.0	0.0	0.0	58,181,327.0	66,262,067.0	52,363.0	59,636.0
Total						158,409.0	193,612.0

*Asume una conversión de 0.9 litro de biodiésel por 1 kg de grasa animal
Fuente: REMBIO (2016) con datos de SIAP.

2.5.4. Potencial técnico conjunto de aceites de cocina usados y grasas animales para biodiésel

El potencial técnico mostrado en el cuadro 2.27 de obtención de aceites de cocina usados y grasas animales para biodiésel es teórico, ya que existen actualmente usos concurrentes para muchas de estas fuentes de materias grasas y, en muchos casos, la capacidad y disposición al pago de los usuarios concurrentes sería más alta que la de los potenciales usuarios de biodiésel. Este es el caso de las grasas animales, que tienen alta demanda como insumos para jabonería, aditivos alimenticios, alimentos para mascotas y otros usos finales.

CUADRO 2. 27. POTENCIALES TÉCNICOS DE RECUPERACIÓN DE GRASAS ANIMALES Y ACEITES DE COCINA USADOS EN 2015

ORIGEN	BAJO (m³/a)	ALTO (m³/a)
Grasa de Bovinos	39,497	61,956
Grasa de Porcinos	66,549	72,020
Grasa de Aves	52,363	59,636
Aceites de cocina usados	120,546	361,639
Total	278,955	555,251

Fuente: REMBIO, con datos de SIAP e INEGI

CUADRO 2. 28. DISPONIBILIDAD POTENCIAL DE BIOMASA DE ESQUILMOS (TMS/A) Y RENDIMIENTO AGRÍCOLA MEDIO (T/HA) DE CULTIVOS

ESTADOS	TRIGO		CEBADA		MAIZ		SORGO		CAÑA	
	tMS/a	t/ha	tMS/a	t/ha	tMS/a	t/ha	tMS/a	t/ha	tMS/a	t/ha
Aguascalientes					37,759.0	2.6	10,664.0	8.0		
Baja California	99,900.0	3.7			10,028.0	3.8	6,358.0	4.8		
Baja California Sur	4,493.0	4.7			37,426.0	5.6	6,225.0	4.7		
Campeche					32,838.0	1.9	30,926.0	2.9	20,052.0	71.6
Chiapas	18.0	1.0			270,535.0	1.7	87,205.0	2.8	153,118.0	91.1
Chihuahua	28,031.0	4.6	601.0	1.4	274,219.0	4.6	62,464.0	5.2		
Coahuila de Zaragoza	5,487.0	3.2	62.0	1.1	89,802.0	1.9	57,386.0	3.1		
Colima					50,966.0	3.8	55,053.0	5.2	103,657.0	92.6
Durango	2,795.0	2.9	1,009.0	2.4	118,237.0	2.4	55,439.0	3.2		
Guanajuato	54,823.0	5.2	108,218.0	5.0	226,951.0	3.7	259,522.0	5.7		
Guerrero					285,923.0	2.7	250,297.0	4.0		

Hidalgo	679.0	2.7	68,297.0	1.9	289,727.0	2.6	8,185.0	6.1		
Jalisco	25,430.0	4.8	1,520.0	5.2	887,961.0	5.7	579,308.0	5.2	498,060.0	93.6
México	3,572.0	2.0	22,158.0	1.9	587,873.0	3.6	31,459.0	5.9	195,306.0	93.0
Michoacán	29,757.0	4.3	2,027.0	4.1	590,374.0	3.9	535,319.0	5.1		
Morelos	288.0	4.1			140,541.0	3.2	164,252.0	4.6	339,226.0	121.2
Nayarit					116,122.0	4.4	91,777.0	3.8	123,248.0	80.0
Nuevo León	16,077.0	2.9	206.0	2.5	86,490.0	2.0	85,605.0	2.3		
Oaxaca	2,344.0	1.0	70.0	1.8	832,168.0	1.1	113,665.0	2.8	135,502.0	69.1
Puebla	1,432.0	1.7	19,177.0	2.0	487,578.0	1.7	249,511.0	3.9	308,286.0	104.9
Querétaro	278.0	3.4	2,679.0	4.5	49,636.0	2.1	100,655.0	6.9		
Quintana Roo					5,679.0	0.5	12,597.0	3.2	8,456.0	60.4
San Luis Potosí	95.0	1.9	931.0	0.6	78,563.0	1.0	47,761.0	2.2	101,184.0	72.3
Sinaloa	53,581.0	4.5			244,481.0	7.7	130,514.0	4.1	64,830.0	77.2
Sonora	332,160.0	4.5			223,254.0	4.1	106,880.0	3.5		
Tabasco					37,041.0	1.6	32,325.0	3.5	48,425.0	69.2
Tamaulipas	578.0	2.7	165.0	1.3	153,256.0	2.9	123,796.0	2.4	98,346.0	78.1
Tlaxcala	16,686.0	2.7	30,506.0	2.6	247,447.0	3.1				
Veracruz	377.0	1.8	210.0	1.4	602,636.0	2.2	156,468.0	3.8	991,322.0	71.5
Yucatán					97,422.0	0.7	5,185.0	1.9		
Zacatecas	7,174.0	1.9	10,700.0	1.4	195,949.0	2.5	53,027.0	3.1		
Total general	686,055.0	3.1	268,536.0	2.4	7,351,123.0	3.0	3,499,164.0	4.0	3,189,018.0	83.0

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SIAP.

El potencial total de esta fuente es cercano a 15 millones de tMS/año. Asumiendo una tasa de conversión de 0.25 m³ de biodiésel /tMS²⁴, con lo cual es factible suponer un nivel de producción técnicamente sostenible de unos 3.75 millones de m³ de biodiésel por año. Sin embargo, este potencial no es económicamente realizable para la producción de biodiesel en el corto y medio plazo, ya que las tecnologías de conversión conocidas como 2^a generación no han alcanzado todavía el grado de madurez técnica para ser aplicadas a escala comercial.

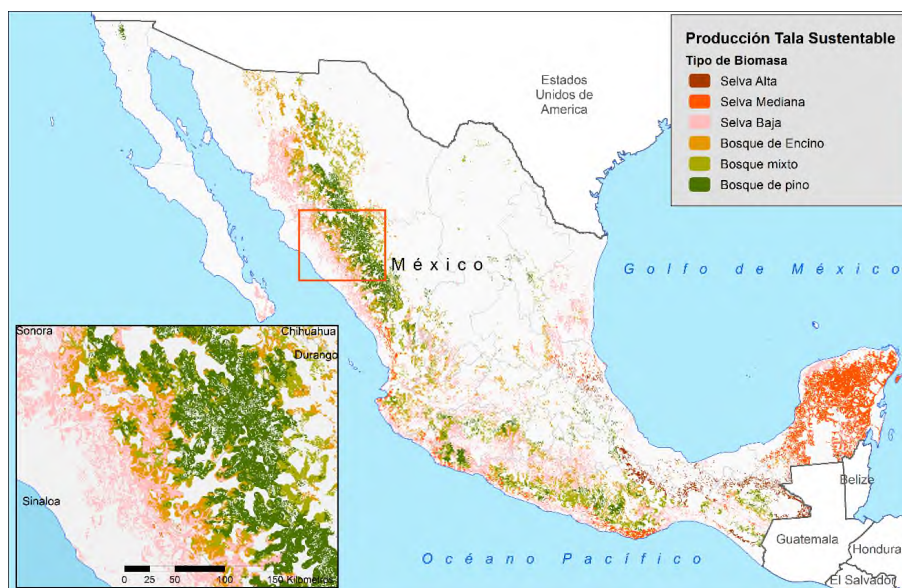
2.5.5. Potencial de biomasa forestal leñosa

Para estimar la disponibilidad de biomasa leñosa como materia prima para biodiesel de segunda generación se utilizó la metodología y datos primarios del *Inventario de Energías Renovables* de SENER. La mayor fuente potencial de biomasa leñosa en México es la vegetación forestal nativa. En los cuadros 2.29 y 2.30, se resumen las áreas aprovechables para producción sostenible de madera y su producción anual. Esta estimación de producción anual sostenible excluyó las maderas de especies y calidades utilizables por las industrias forestales de aserrío, de celulosa y de tableros, e incluye solamente las maderas útiles para energía.

El total de producción nacional potencial, contabilizando los bosques y selvas ubicados a menos de 3 km de algún camino, con pendientes del terreno menores al 30%, fuera de áreas naturales protegidas y/o áreas de alto valor para la conservación de la biodiversidad, es de 112 millones de tMS/a, a los que se les restan 22 millones de tMS/a actualmente utilizados como combustible doméstico y 3 millones de tMS/a destinados a fabricar carbón de leña. El potencial neto, resulta así de unos 87 millones de tMS/a. En la figura 2.42 se muestran las áreas aptas para la tala sustentable.

²⁴ Promedio de los valores informados para plantas piloto y plantas proyectadas según la European Biofuels Technology Platform (EBTP, 2016)

FIGURA 2. 41. ÁREAS APTAS PARA LA TALA SUSTENTABLE



Fuente: REMBIO

Este potencial se encuentra en casi todos los estados del país, y su incremento anual cosechable va de 2.0 a 4.2 tMS/ha/a. Es por lo tanto similar a las tasas de cosecha de esquilmos o residuos agrícolas de campo, pero tiene la ventaja de que el crecimiento puede acumularse en ciclos de 10 a 15 años, para cosechar de 30 a 50 tMS/ha en una operación al final de cada ciclo. Al igual que con los esquilmos agrícolas, la conversión de biomasa leñosa en biodiésel es técnicamente posible, pero no existen procesos industriales económicamente viables hasta ahora.

CUADRO 2. 29. SUPERFICIE APROVECHABLE DE BOSQUES Y SELVAS NATIVAS DE MÉXICO
(Ha)

	PINO	ENCINO	MIXTO	SELVA ALTA	SELVA MEDIA	SELVA BAJA	TOTALES
Aguascalientes		12,676.0				15,984.0	28,660.0
Baja California	64,039.0	1,253.0				205,341.0	270,632.0
Baja California Sur		1,958.0					1,958.0
Campeche		9,035.0		25,885.0	1,562,650.0	204,569.0	1,802,139.0
Chiapas	154,776.0	105,911.0	382,412.0	552,613.0	72,430.0	226,659.0	1,494,801.0
Chihuahua	1,462,202.0	867,292.0	1,568,977.0			358,945.0	4,257,416.0
Coahuila de Zaragoza	54,340.0	29,292.0	35,357.0			18,360.0	137,349.0
Colima	101.0	17,820.0	4,432.0		42,174.0	118,805.0	183,332.0
Distrito Federal	11,967.0	861.0	2,618.0				15,446.0
Durango	1,624,549.0	449,756.0	919,697.0		3,365.0	366,411.0	3,363,778.0
Guanajuato	11,349.0	100,991.0	8,077.0			144,911.0	265,328.0
Guerrero	141,436.0	499,039.0	909,760.0		173,473.0	1,281,439.0	3,005,147.0
Hidalgo	20,913.0	44,690.0	27,101.0	13,615.0	21,204.0	249.0	127,772.0
Jalisco	95,705.0	659,632.0	635,242.0		159,284.0	1,030,881.0	2,580,743.0
México	25,011.0	80,473.0	83,842.0			60,672.0	249,997.0

Michoacán de Ocampo	399,549.0	250,411.0	534,409.0		114,541.0	1,025,177.0	2,324,087.0
Morelos	916.0	4,765.0	1,412.0			60,419.0	67,512.0
Nayarit	5,833.0	114,003.0	197,896.0		184,413.0	141,231.0	643,375.0
Nuevo León	50,544.0	17,273.0	33,365.0			9,841.0	111,023.0
Oaxaca	382,011.0	449,076.0	1,036,091.0	345,134.0	427,311.0	634,366.0	3,273,990.0
Puebla	76,989.0	77,773.0	65,916.0	35,057.0	9.0	340,687.0	596,430.0
Querétaro	1,033.0	24,745.0	12,163.0		15.0	31,674.0	69,629.0
Quintana Roo				119.0	1,761,176.0	224,774.0	1,986,070.0
San Luis Potosí	8,566.0	152,696.0	13,379.0	25,163.0	63,352.0	154,947.0	418,103.0
Sinaloa	59,513.0	336,210.0	141,371.0		44,952.0	1,318,788.0	1,900,834.0
Sonora	14,165.0	875,913.0	200,414.0			1,527,861.0	2,618,354.0
Tabasco		19,676.0		49,783.0	34,240.0	35,297.0	138,996.0
Tamaulipas	9,749.0	81,431.0	12,447.0		5,195.0	677,502.0	786,325.0
Tlaxcala	9,821.0	7,637.0	4,622.0			72,189.0	94,269.0
Veracruz	51,226.0	36,814.0	21,214.0	352,780.0	98,852.0	262,753.0	823,639.0
Yucatán					2,149,242.0	210,851.0	2,360,093.0
Zacatecas	43,388.0	230,634.0	123,010.0				397,032.0
TOTALES	4,779,688.0	5,547,062.0	6,975,225.0	1,400,148.0	6,917,879.0	10,745,599.0	36,365,601.0
Participación	13.0%	15.0%	19.0%	4.0%	19.0%	30.0%	100.0%

Fuente: REMBIO

CUADRO 2. 30. PRODUCCIÓN POTENCIAL SOSTENIBLE DE BIOMASA ENERGÉTICA EN SELVAS Y BOSQUES DE MÉXICO
(tMS/a)

	PINO	ENCINO	MIXTO	SELVA ALTA	SELVA MEDIA	SELVA BAJA	TOTALES
Aguascalientes		25,351.0				63,937.0	89,289.0
Baja California	128,077.0	2,507.0				821,362.0	951,946.0
Baja California Sur		3,917.0					3,917.0
Campeche		18,071.0		129,424.0	6,250,601.0	818,276.0	7,216,372.0
Chiapas	309,552.0	211,823.0	764,824.0	2,763,063.0	289,719.0	906,636.0	5,245,617.0
Chihuahua	2,924,403.0	1,734,584.0	3,137,954.0			1,435,780.0	9,232,721.0
Coahuila	108,680.0	58,585.0	70,715.0			73,439.0	311,418.0
Colima	202.0	35,640.0	8,864.0		168,697.0	475,221.0	688,624.0
Distrito Federal	23,933.0	1,722.0	5,236.0				30,892.0
Durango	3,249,098.0	899,512.0	1,839,394.0		13,460.0	1,465,644.0	7,467,108.0
Guanajuato	22,698.0	201,982.0	16,153.0			579,646.0	820,479.0
Guerrero	282,872.0	998,077.0	1,819,520.0		693,893.0	5,125,757.0	8,920,120.0
Hidalgo	41,826.0	89,379.0	54,201.0	68,074.0	84,817.0	998.0	339,295.0
Jalisco	191,410.0	1,319,264.0	1,270,484.0		637,134.0	4,123,522.0	7,541,814.0

México	50,021.0	160,946.0	167,684.0			242,688.0	621,339.0
Michoacán	799,098.0	500,822.0	1,068,819.0		458,164.0	4,100,708.0	6,927,611.0
Morelos	1,832.0	9,530.0	2,824.0			241,675.0	255,861.0
Nayarit	11,665.0	228,006.0	395,792.0		737,651.0	564,923.0	1,938,037.0
Nuevo León	101,088.0	34,546.0	66,731.0			39,363.0	241,728.0
Oaxaca	764,022.0	898,152.0	2,072,182.0	1,725,671.0	1,709,245.0	2,537,466.0	9,706,738.0
Puebla	153,978.0	155,545.0	131,832.0	175,283.0	35.0	1,362,749.0	1,979,422.0
Querétaro	2,066.0	49,489.0	24,325.0		60.0	126,696.0	202,636.0
Quintana Roo				595.0	7,044,705.0	899,098.0	7,944,397.0
San Luis Potosí	17,132.0	305,391.0	26,758.0	125,815.0	253,408.0	619,789.0	1,348,294.0
Sinaloa	119,025.0	672,420.0	282,743.0		179,808.0	5,275,151.0	6,529,147.0
Sonora	28,330.0	1,751,826.0	400,829.0			6,111,445.0	8,292,430.0
Tabasco		39,352.0		248,917.0	136,959.0	141,188.0	566,416.0
Tamaulipas	19,498.0	162,862.0	24,893.0		20,781.0	2,710,009.0	2,938,045.0
Tlaxcala	19,641.0	15,275.0	9,244.0			288,755.0	332,915.0
Veracruz	102,451.0	73,628.0	42,429.0	1,763,899.0	395,409.0	1,051,012.0	3,428,829.0
Yucatán					8,596,969.0	843,402.0	9,440,372.0
Zacatecas	86,775.0	461,269.0	246,020.0				794,064.0
TOTALES	9,559,376.0	11,119,475.0	13,950,449.0	7,000,741.0	27,671,515.0	43,046,335.0	112,347,891.0
Participación	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	1.0

Fuente: REMBIO

Estado del sector y recursos disponibles para la producción de biodiésel

Las principales materias primas actualmente disponibles para producir biodiésel en México son los aceites de cocina usados. Hay una incipiente actividad comercial de recolección y procesamiento, con capacidad instalada de menos de dos mil m³/a y que todavía opera en gran medida de modo informal. El potencial de expansión para el sector es amplio, ya que se podría obtener desde 120 mil hasta 360 mil m³/a en las ciudades de más de 100 mil habitantes si se alcanzara una tasa de recuperación del 10% al 30% del consumo aparente. Los costos estimados para el biodiésel producido con aceites usados van de 11.12 a 13.70 \$MN/litro.

La posibilidad de producir biodiésel con grasas animales existe técnicamente, ya que se obtienen en el país entre 176 y 215 mil t/año, que podrían convertirse a biodiésel con una producción de 154 a 194 mil m³/a. Sin embargo, los precios de las grasas animales son elevados (de 8 a 12 \$MN/kg para el de sebo de res, y de 12 a 20 \$MN/kg para la de grasa de cerdo) por lo cual los costos de producción de biodiésel se estiman entre 14 y 26 \$MN/litro.

A día de hoy no existen excedentes de aceites crudos para producir biodiésel en México. La producción nacional de aceites vegetales depende de la importación de oleaginosas (o de aceites crudos). En México se cosechan tres cultivos oleaginosos principales: soja, palma y coco. De éstos se obtuvieron unas 271 mil t (o 300 mil m³) de aceites vegetales crudos en 2014. El consumo nacional aparente de aceites fue de 3.4 millones de m³ en 2014, por lo cual la producción nacional de estas materias primas solo cubrió el 9% de la demanda y se importaron semillas oleaginosas y aceites por un 91% de lo consumido.

La tendencia de producción de oleaginosas en México es creciente y, si continuara al mismo ritmo que presentó en la última década, se podrían producir 350 mil ton de aceite en 2020 y 560 mil en 2030, equivalente a cubrir en torno a una sexta parte del consumo nacional de aceites con la cosecha nacional de oleaginosas.

Existe la posibilidad técnica de expandir algunos cultivos oleaginosos de modo más intenso, para producir biodiésel en plantaciones dedicadas a esta finalidad. Para no competir con la producción de alimentos y respetar los principios establecidos en la LPDB, solamente se podrían utilizar tierras de pastizales (de uso actual no agrícola y no forestal). Las tierras de pastizales son abundantes, pero pocas de ellas tienen las condiciones ambientales (de suelo, clima, topografía) propias de sitios con alta calidad productiva. Para el cultivo de más alta productividad, que es la palma de aceite, las tierras más aptas se concentran en el trópico húmedo del Sureste. Las aptas para el coco se limitan a las costas del Pacífico Sur-central y del Golfo de México. Las restantes oleaginosas (soja, girasol, higuera, jatropha) pueden cultivarse con rendimientos medios o altos en muchas áreas que tengan precipitación mayor a 900 mm durante el ciclo del cultivo y moderadas limitaciones de suelo y pendiente del terreno.

Debe notarse que al establecer cultivos en tierras cuya productividad real es menor que la máxima de ese cultivo, los costos de producción unitarios aumentan a medida que se reduce la aptitud del terreno. Asumiendo que los nuevos cultivos se expanden sólo en las tierras que corresponden a las primeras dos clases de costo de producción (con costo de materia prima hasta 15 \$MN/L), se podría obtener hasta 4.4 millones de m³ de aceite por año (equivalente a ~4.4 millones de m³ de biodiésel), ocupando 3.5 millones de hectáreas, con costos de materias primas entre 6.29 y 12.17 \$MN/L de aceite equivalente. Si se continuara la expansión incluyendo las otras tres clases de costo más caras (hasta 30 \$MN/L) sería posible aumentar la producción hasta un total de 5.3 millones de m³/año, pero con costos marginales marcadamente crecientes (desde 17.87 hasta 27.93 \$MN/L).

El área total de pastizales en México es de unos 13 millones de hectáreas. La conversión de pastos a cultivos de oleaginosas en las áreas de mayor productividad y menor costo de producción (hasta 1.9 millones de hectáreas) resultaría en una oferta de biodiesel de hasta 3.2 millones de m³/a. Ésta opción no tendría efectos muy importantes sobre la disponibilidad de pastos para la cría de ganado (especialmente de bovinos). Sin embargo, expansiones ulteriores del área cultivada resultarían en mayores costos unitarios de biodiesel y podrían aumentar sensiblemente el impacto negativo sobre la ganadería.

Por otro lado, existen abundantes recursos lignocelulósicos disponibles, como residuos agrícolas o coproductos agroindustriales y forestales, que en el futuro podrían utilizarse para obtener biodiésel de segunda generación cuando las tecnologías de conversión hayan alcanzado su madurez comercial y resulten competitivas.

En términos de infraestructura de conversión de aceites crudos a biodiésel, ésta se limita a un reducido número de plantas de demostración de muy pequeña escala. Se identificaron tres plantas de producción de biodiésel que llegaron a operar comercialmente y han cesado operaciones en los últimos años por diversos motivos. En la actualidad operan – o están a punto de entrar en operación – seis plantas de pequeña escala, implantadas con apoyo económico de la SAGARPA. La capacidad total de producción de biodiésel de estas plantas es inferior a los 5,000 m³ al año.

Una fuerte penetración del biodiésel es altamente improbable bajo un escenario tendencial. Dado que los costos de producción de biodiésel son superiores a su alternativa fósil, la introducción del biodiésel en el mercado se ha de inducir a través de la adopción de políticas de apoyo, que tendrán en cualquier caso un costo económico directo. Este costo es dependiente de múltiples factores como la cuota de mercado de biodiésel deseada o la evolución futura de los precios internacionales del petróleo, entre otros.

2.5.6. Avances de la Prueba de Concepto de Introducción de Etanol Anhidro en las gasolinas

La Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos (CIB) en su 15ª sesión ordinaria, celebrada el 19 de marzo de 2014, aprobó el acuerdo 03/190314 el cual establece: *“La Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos se da por enterada del documento presentado por parte del Grupo de Trabajo para la Introducción de los Bioenergéticos y de PEMEX y aprueba dicho documento, así mismo autoriza la implementación de una prueba de concepto bajo un esquema regional.”.*

Con referencia al documento aprobado, por necesidades de logística y operación de PEMEX, para efectos de implementar lo solicitado, se incluyó a la Terminal de Almacenamiento y Distribución (TAD) San Luis Potosí en sustitución de la TAD Cadereyta, toda vez que esta última suministra parte de la Gasolina Pemex Magna Oxigenada que se distribuye en la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey, esto sin afectar el volumen de Etanol Anhidro proyectado para la prueba de concepto.

Durante 2014, inició el procedimiento de licitación para adquirir etanol anhidro para mezclarlo en las gasolinas que comercializa PEMEX, proceso que ha sido conducido por los órganos competentes de dicha empresa. Esta actividad es elemento fundamental en la ejecución de una prueba de concepto regionalizada para introducir etanol anhidro en la matriz energética de los combustibles, dando con ello cumplimiento al tercer acuerdo de la 15ª sesión ordinaria de la CIB. Los principales puntos del proceso han sido los siguientes:

- El 09 de octubre de 2014 se publicó en el D.O.F. la Licitación Pública Nacional número P4LN029001 para la adquisición de etanol anhidro por un volumen máximo de 2,214.9 millones de litros en un periodo de diez años, para el mezclado con gasolinas en terminales de almacenamiento y distribución (TAD) de PEMEX-Refinación.

En la licitación se concursaron las siguientes TAD'S:

- Cd. Mante.
 - Cd. Madero.
 - Cd. Valles.
 - San Luis.
 - Pajaritos.
 - Perote.
 - Veracruz.
 - Xalapa.
- El 04 de diciembre de 2014 se llevó a cabo el evento de recepción de documentos de los interesados para la precalificación de los posibles participantes en la licitación, en la cual se presentaron 7 propuestas (04 simples y 03 conjuntas):
 - Destiladora de Alcoholes y Mieles.
 - Ingenio la Gloria.
 - Alcoholera de Zapopan.
 - Soluciones en Ingeniería Naval Marina y Terrestre.

- Biocombustibles Juanita, Isthmus Energía Verde, Goca Properties y SVP Total 001.
- Destiladora del Papaloapan y Fabricación de Alimentos Tenerife.
- Bioenergéticos Mexicanos y Productores de Bioenergéticos Mexicanos.
- El 23 de diciembre se realizó el acto de Notificación del Resultado de la Precalificación de la licitación, en el cual todos los licitantes resultaron precalificados para presentar sus propuestas técnicas y económicas. No se presentó propuesta para la TAD de Cd. Madero.
- El 27 de enero de 2015 se realizó el acto de Presentación de Propuestas Técnicas y Económicas, y Apertura de Propuestas Técnicas, en el cual se recibieron las propuestas de todos los licitantes, verificando que cuantitativamente contuvieran los documentos requeridos en las Bases de Licitación. Todas las propuestas cumplieron con los requisitos excepto la de Biocombustibles Juanita que no presentó la fianza o carta de crédito para garantizar la seriedad de la propuesta.
- De las 6 empresas que cumplieron con los requisitos para ser evaluadas, PEMEX realizó la revisión de fondo y forma de las propuestas técnicas y económicas presentadas y entregó observaciones a cada empresa, mismas que fueron subsanadas. De la evaluación se verificó que las empresas licitantes dieron cumplimiento a los requisitos solicitados en las bases de la licitación, excepto Destiladora de Alcoholes y Mielles por lo que su propuesta fue desechada.

CUADRO 2. 31. EMPRESAS LICITANTES

Licitantes	Terminales de Almacenamiento y Distribución de PEMEX							
	Cd. Madero	Cd. Mante	Cd. Valles	San Luis Potosí	Pajaritos	Perote	Veracruz	Xalapa
Alcoholera de Zapopan						X		
Biomex (propuesta conjunta)		X	X	X				
Destiladora del Papaloapan (propuesta conjunta)							X	
Ingenio la Gloria						X		
Soluciones e Ingeniería Naval, Marina y Terrestre		X						X

- El procedimiento licitatorio para la adquisición de etanol anhidro en las gasolinas que comercializa PEMEX, concluyó el pasado 17 de marzo de 2015, resultando después de la etapa de negociación de precios y evaluación de las propuestas económicas cuatro ganadores para seis TAD'S, quienes adquieren los compromisos de entregar hasta un máximo de 142 millones de litros en promedio por año para las seis TAD'S, considerándose un arranque escalonado de la entrega de etanol anhidro a partir de 2016. La firma de los contratos correspondientes se realizó el 07 de abril de 2015.

CUADRO 2. 32. RESULTADOS DE LA ETAPA DE NEGOCIACIÓN DE PRECIOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS ECONÓMICAS

Empresa Licitante	TAD	Cantidad mínima (millones de litros)	Cantidad máxima (millones de litros)
Alcoholera de Zapopan	Perote	79.0	113.0
Destiladora del Papaloapan/ Fabricación de Alimentos Tenerife (Grupo Báltico)	Veracruz	268.0	382.0
Soluciones en Ingeniería Naval, Marina y Terrestre	Xalapa	151.0	215.0
Bioenergéticos Mexicanos / Productores de Bioenergéticos Mexicanos (Biomex)	Cd. Mante	41.0	59.0
	San Luis	369.0	527.0
	Cd. Valles	135.0	193.0

- El procedimiento licitatorio para la adquisición de etanol anhidro en las gasolinas que comercializa PEMEX, concluyó el pasado 17 de marzo de 2015, resultando después de la etapa de negociación de precios y evaluación de las propuestas económicas cuatro ganadores para seis TAD'S, quienes adquieren los compromisos de entregar hasta un máximo de 142 millones de litros en promedio por año para las seis TAD'S, considerándose un arranque escalonado de la entrega de etanol anhidro a partir de 2016. La firma de los contratos correspondientes se realizó el 07 de abril de 2015.

Beneficios esperados

Gracias a los resultados de la licitación para la introducción de etanol anhidro en ocho TAD's de Pemex, se crea una oportunidad importante para que México emprenda la producción de este biocombustible a gran escala, tomando como base los resultados de una prueba de concepto regionalizada. Basado en la experiencia internacional, un programa de etanol como combustible puede formar parte de una transición hacia sistemas de transporte sustentables y alargar los recursos petrolíferos del país, logrando una moderada cuota para el etanol.

Se espera que la introducción de etanol en las gasolinas traiga beneficios relevantes para el país tales como:

- La creación de empleos en el campo
- El desarrollo de la economía rural
- La mejora de la seguridad energética
- Una mejor gestión del agua
- La expansión de la agricultura a tierras más secas o desaprovechadas cosechando cultivos resilientes y múltiples como el sorgo dulce
- La motivación de la comunidad científica y tecnológica para el desarrollo de segunda generación de biocombustibles
- Incentivos a la industria de bienes de producción, y
- La mejora del medio ambiente local y global.

De lograrse una expansión a gran escala de la producción de insumos en pastizales y tierras marginales, tendrá lugar un desarrollo regional en nuevas zonas, creando empleos y promoviendo mejores infraestructuras sociales. Adicionalmente se espera la mitigación de Gases de Efecto Invernadero por el uso de este biocombustible.

Por último, de conformidad con la instrucción de la Comisión Intersecretarial, se llevará a cabo una evaluación de la prueba de concepto para medir el impacto en términos sociales y ambientales, a fin de garantizar la sustentabilidad y en su caso proponer políticas públicas de mayor alcance para la producción y aprovechamiento de los biocombustibles.

ESTUDIOS Y TENDENCIAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables están teniendo una mayor participación en los distintos sectores. La constante preocupación sobre el cuidado del medioambiente, ha inducido a que cada día se realicen más investigaciones sobre el tema.

En este capítulo se presentan temas relacionados a aplicaciones de fuentes de energías renovables que se encuentran en proceso de estudio como alternativas para la electrificación del país. Además de un análisis comparativo entre dos instrumentos de política para el fomento de una mayor participación de las energías renovables.

3.1. Aprovechamiento Térmico de Residuos Sólidos como una alternativa de propósito dual

La Ley de la Industria Eléctrica clasifica como energía limpia²⁵ a aquella energía generada por el aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados en los sitios de disposición de residuos, granjas pecuarias y en las plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros.

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, en su Artículo 2, Fracción II, de las Disposiciones Generales, reconoce como Bioenergéticos a todos aquellos combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades, agrícola, pecuaria, silvícola, acuacultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente en los términos de esta Ley.

Por su parte, los residuos sólidos urbanos son aquéllos generados en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (por ejemplo, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques), y estos pueden servir como insumos para la generación de electricidad como energía renovable.

3.1.1. La incineración de Residuos Sólidos Urbanos, como una propuesta alternativa de aprovechamiento térmico

Una alternativa de generación eléctrica que no ha sido explorada en México es la incineración de residuos sólidos urbanos (RSU), en el país ya se tiene alguna experiencia con los rellenos sanitarios para la producción de biogás y consecuentemente generación de electricidad.

En las tecnologías térmicas de incineración de RSU, casi todo el contenido de carbono de los residuos se emite como dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera (cuando se incluye la combustión final de los productos de pirólisis y gasificación, excepto cuando se produce bio-carbon para fertilizantes). Los RSU contienen aproximadamente la misma fracción masiva de carbono que el propio CO₂ (27%), por lo que el tratamiento de una tonelada de RSU produce aproximadamente una tonelada de CO₂.

En el caso de que los residuos fueran depositados a cielo abierto, una tonelada de RSU produciría aproximadamente 62 m³ de metano mediante la descomposición anaeróbica de la parte biodegradable de los desechos. Esta cantidad de metano tiene más de dos veces el potencial de calentamiento global que el de

²⁵ http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf

una tonelada de CO₂, que habría sido producido por la combustión. En algunos países, se recogen grandes cantidades de gas proveniente de rellenos sanitarios, pero aun así el potencial de calentamiento global del gas de relleno sanitario emitido a la atmósfera es aproximadamente un 32% más alto que la cantidad de CO₂ que habría sido emitida por la combustión.

En la incineración casi todos los desechos biodegradables son biomasa, es decir, tiene origen biológico. Este material ha sido formado por plantas que usan CO₂ atmosférico típicamente dentro de la última temporada de crecimiento. Si estas plantas vuelven a crecer, el CO₂ emitido por su combustión será retirado de la atmósfera una vez más.

Tales consideraciones son la principal razón por la que varios países administran la incineración de la biomasa que es parte de los RSU como energía renovable. El resto, principalmente plásticos y otros productos derivados del petróleo y el gas, generalmente se trata como no renovables.

Es por esta razón que a la incineración de los RSU se le da en varios países el tratamiento de energía renovable otorgándosele certificados de energía limpia, entre los países en los cuales se da este tratamiento se encuentran los Estados Unidos de América y Suecia entre otros, México debería de considerar esta alternativa como una fuente probable de generación distribuida con beneficio social mediante la reducción de emisiones de CO₂ y de metano.

El manejo y disposición final de la basura es un problema de interés nacional, actualmente en promedio en el país se generan del orden de 320 kg de residuos sólidos urbanos (RSU) por habitante al año. Corresponde a cada municipio llevar a cabo las gestiones necesarias para su recolección y disposición final en los llamados tiraderos de basura, los cuales son de tres tipos:

- a) Relleno sanitario (53.73%), no necesariamente empleado para producir electricidad;
- b) Sitios controlados (10.8%) con diferentes tipos de control para evitar emisiones a cielo abierto;
- c) A cielo abierto (32.8%), con la consecuente emisión de metano; el resto de estos RSU se recicla.

En México hay 122.3 millones de habitantes por lo que a cielo abierto se tienen anualmente 12.836 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos que están generando contaminación en el aire por la emisión de metano.

La incineración de residuos sólidos urbanos es una alternativa que está siendo empleada por 31 países en el mundo con la consecuente disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y de residuos sólidos urbanos. Los RSU al ser incinerados reducen su volumen del orden de un 90%, resolviendo con ello una problemática social.

3.1.2. Generación de energía eléctrica por RSU

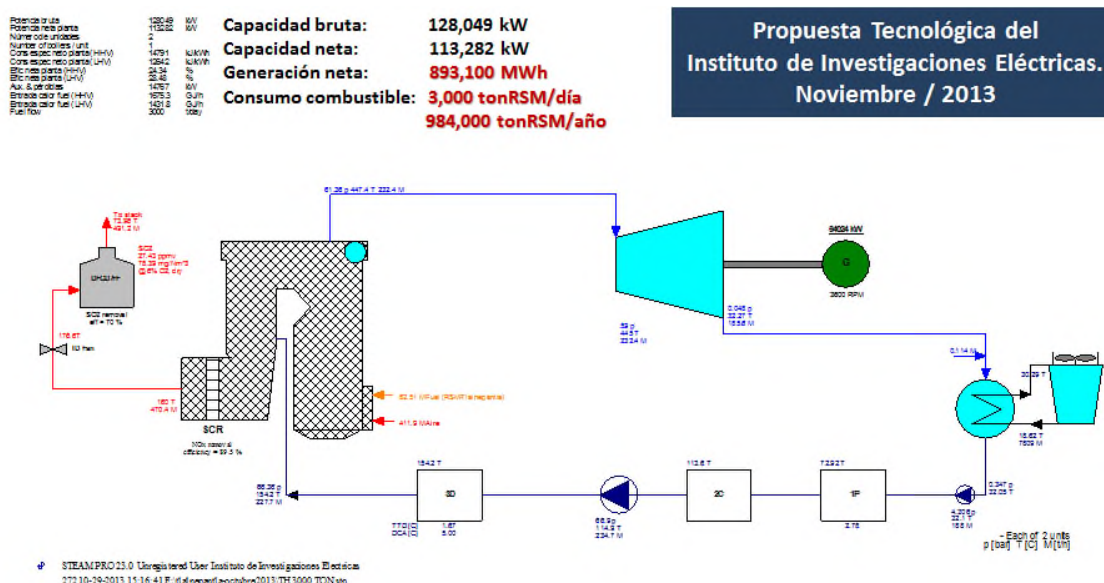
Empleando la tecnología de incineración directa de residuos sólidos urbanos se pueden producir hasta 750 kWh por tonelada de residuos sólidos urbanos, en tanto que la misma cantidad de relleno sanitario sólo produce del orden de 65 kWh.

Esta tecnología está siendo empleada a nivel mundial con buenos resultados, por ejemplo en Estados Unidos hay 84 sitios con una capacidad de 769 MW, siendo esta tecnología una solución para la generación eléctrica con beneficio social por la reducción de residuos sólidos urbanos y de emisión de CO₂ al medio ambiente.

En México ya se han llevado a cabo algunos estudios de investigación preliminares para su posible uso. El Instituto de Investigaciones Eléctricas propuso una central de Residuos Sólidos Urbanos con una capacidad de generación neta de 113.282 MW la cual consumiría 3,000 toneladas de RSU al día por lo que al año su consumo sería de 984,000 toneladas de RSU, la Figura muestra la descripción de ésta planta.

Es importante señalar que la cantidad de emisiones que se generarían por la incineración de los RSU se encuentra dentro de las normas de emisiones emitidas por la SEMARNAP como puede apreciarse en la siguiente figura.

FIGURA 3. 1. PLANTA PROTOTIPO PARA LA QUEMA DE RSU EN MÉXICO



Fuente: ININ.

El beneficio social obtenido con esta alternativa es la eliminación de 3,000 ton RSU al día por cada planta de éste tipo que se encuentre en funcionamiento. Las 3,000 toneladas de RSU al día están emitiendo 1,312.5 toneladas de CO₂ diariamente, por lo que al año se emitirían 479, 064 toneladas de CO₂ de tal manera que su incineración eliminaría estas emisiones.

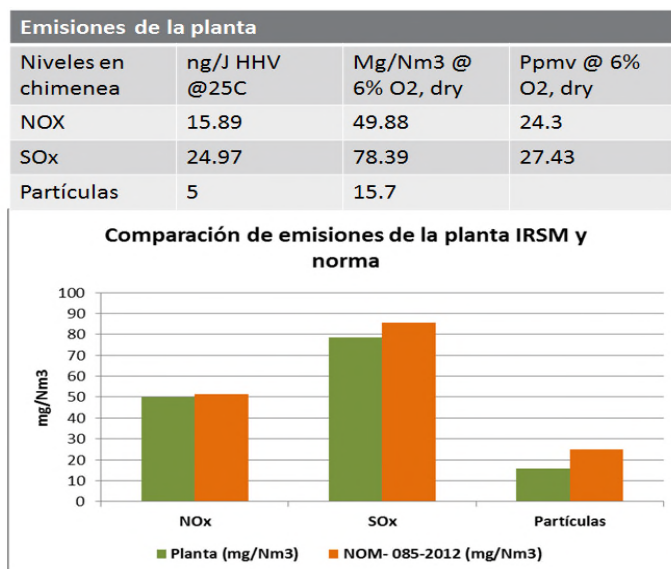
El proceso de producción de electricidad mediante RSM tiene un coeficiente de emisión de 0.5267 ton CO₂/MWh generado, por lo que una planta como la propuesta aquí funcionando con un factor de capacidad del 70% produciría 694,645.22 MWh y generaría 365,869 ton CO₂ al año, esta cantidad es inferior a la que actualmente se está produciendo por la misma cantidad de RSM que se encuentran a cielo abierto. En este caso se estarían evitando 113,195 ton CO₂ al año.

Todas las comunidades deben de pagar el costo por la recolección de la basura. En éste caso en particular el costo del combustible sería un costo negativo, es decir, sería un flujo positivo mejorando con ello su competitividad con otras fuentes de generación eléctrica.

3.1.3. Balance de emisiones

Como primer paso en este análisis, es muy importante considerar las emisiones evitadas por el proceso de incineración de RSU, en este proceso se debe considerar a las emisiones que se tienen por la fuga de metano así como aquellas que se producirían por la generación de electricidad mediante el uso de algún combustible fósil (por ejemplo el gas en los ciclos combinados) y las emisiones que se tienen por los componentes fósiles de los RSU, éste balance se especifica en la siguiente figura 3.3.

FIGURA 3. 2. EMISIONES DE UNA CENTRAL DE RSM



Las emisiones de mercurio y metales pesados se controlan en el equipo lavador de gases usando filtros con carbón activado, satisfaciendo la norma NOM_098.
Fuente: ININ.

FIGURA 3. 3. BALANCE DE EMISIONES POR LA INCINERACIÓN DE RSU

- Para una planta incineradora de las emisiones evitadas de CO2 se calculan:

$$\begin{array}{l}
 \text{Emisiones evitadas} = \text{Ton de CO2 por fuga de metano en rellenos sanitarios} + \text{Ton de CO2 evitados por generación con combustible fósil} - \text{Ton de CO2 emitidas en la planta de incineración por el componente fósil de la basura}
 \end{array}$$

Por ejemplo, para una planta de 1000 ton/día

$$\begin{array}{l}
 \text{Emisiones evitadas (Ton/año)} = 159,688 + 169,995 - 121,968 \\
 = 207,716
 \end{array}$$

Fuente: ININ.

Para la central de incineración de RSU aquí propuesta, se hace un análisis específico de las emisiones que se generarían comparándola con una central de ciclo combinado y considerando la emisión de metano por los RSU, esto se muestra en el cuadro 3.1, como puede apreciarse el balance de la incineración de RSU es negativo dando así crédito a su uso.

CUADRO 3. 1. COMPARACIÓN DE EMISIONES PARA UNA CAPACIDAD INSTALADA DE 113.2 MW

Planta	Capacidad Neta (MW)	Factor de planta %	Indice de emisiones Ton CO ₂ /MWh	Emisiones Ton CO ₂ /año		
				Generación Eléctrica	Fuga de Metano	Total
Ciclo combinado	113.28	70	0.400	277,858.0	479,064.0	756,922.0
Incineración RSU	113.28	70	0.527	365,904.0	-479,064.0	-113,160.0

Fuente: ININ.

3.2. Generación distribuida

En el Artículo 3, Fracción XXIII “Del Objeto y Finalidad de la Ley” de la Ley de la Industria Eléctrica, se define a la Generación Distribuida como:

Generación de energía eléctrica que cumple con las siguientes características:

- a) *Se realiza por un Generador Exento²⁶ en los términos de esta Ley, y*
- b) *Se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado.*

Las Redes Generales de Distribución están integradas por las redes en media tensión, que operan entre 1 kilo Volt (kV) hasta 35 kV, y las redes de baja tensión que operan con niveles de tensión iguales o menores a 1 kV. La infraestructura de distribución en México ofrece servicio a 39.6 millones de usuarios.

Esta generación tiene la característica de tener una capacidad menor a 0.5MW y se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga.

Por su parte en la Ley de Transición Energética en su Artículo 3, Fracción XX “Del Objeto de la Ley u Definiciones”, define a la Generación limpia distribuida como:

Generación de energía eléctrica que, en los términos de la Ley de la Industria Eléctrica, cumple con las siguientes características:

- a) *Se realiza por un Generador Exento;*
- b) *Se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado, y*
- c) *Se realiza a partir de Energías Limpias.*

Es decir, la LTE extiende dicho concepto con la finalidad de incluir a todas las energías limpias.

Antes de la reforma Energética, existía la generación en pequeñas instalaciones que no podían vender el excedente, además de que se otorgó el crédito al consumo evitando tarifas a menudo menores a las del mercado. Ahora, con la Reforma Energética, los proveedores acreditados pagarán un precio regulado por la energía excedente y los proveedores no regulados podrán comprar a todos los usuarios a precios de mercado. Es decir, la generación distribuida obtendrá un pago justo.

La GD en México ha tenido un crecimiento muy dinámico, llegando a cerca de 120 MW instalados a finales de 2015 en contratos de interconexión legados. La capacidad instalada se duplicó de 2014 a 2015, con participación dominante de energía solar en casi el 97% del total, seguido por proyectos de generación con biogás y biomasa (3%). El resto se encuentra en pequeños aerogeneradores y en proyectos híbridos (solar y eólico).

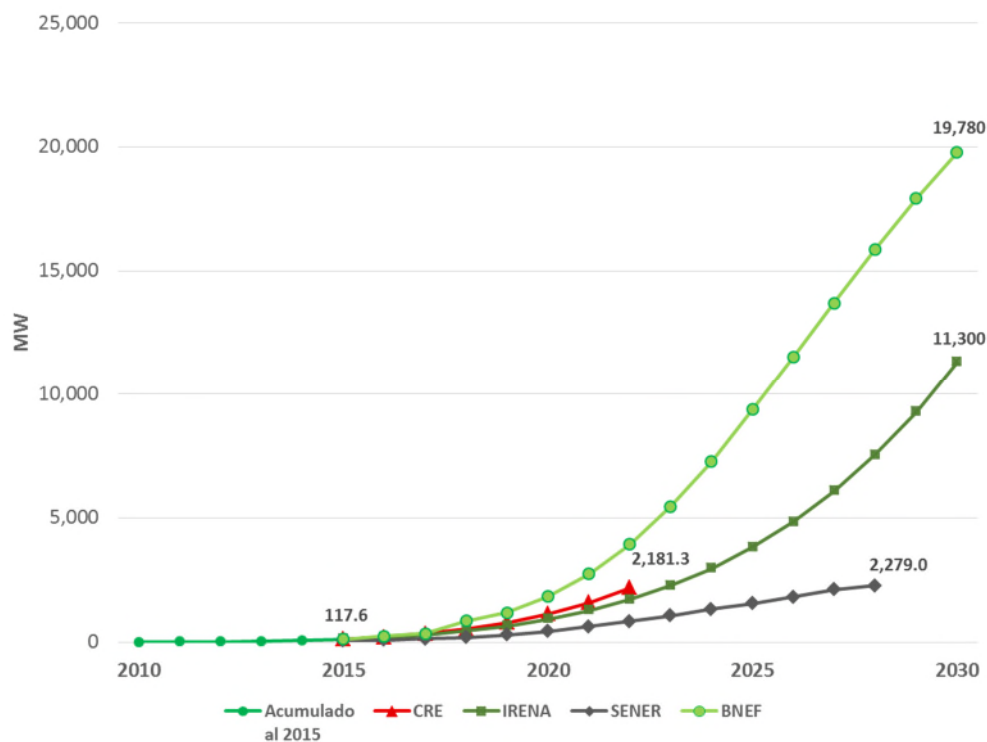
Por su parte, la CRE estima que la GD podría alcanzar una capacidad instalada cercana a los 2.2 GW hacia el año 2022, cifra que, previo a la reforma energética, se esperaba alcanzar hasta el año 2028.

Según estimaciones hechas por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) y por Bloomberg New Energy Finance, en conjunto con la SENER y la CRE, que México tiene el

²⁶ Propietario o poseedor de una o varias Centrales Eléctricas que no requieren ni cuenten con permiso para generar energía eléctrica en términos de la LIE.

potencial para instalar entre 11,300 y 19,780 MW hacia el año 2030 en sistemas solares fotovoltaicos en generación distribuida (véase figura 3.4).

FIGURA 3. 4. PROYECCIONES PARA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN MÉXICO AL 2030
(MW)



Fuente: SENER, CRE, IRENA y BNEF.

La importancia de acelerar la penetración de la Generación Distribuida (GD), es que permite al consumidor generar su propia energía, reduce la presión en el gasto público pues ayuda a mantener bajos costos y garantizando la seguridad energética. Además de que permitiría la cobertura a comunidades muy apartadas reduciendo las pérdidas de energía en el SEN y, finalmente, apoyaría al cumplimiento de las metas de disminución de GEI.

Los siguientes pasos²⁷ son, continuar con los estudios que permitan establecer tarifas de GD justas, basadas en pruebas estándar que identifiquen costos y beneficios; Generar estudios que permitan fortalecer metas a mediano y largo plazo específicas para GD; Apoyar programas piloto de generación distribuida que mejoren las economías del Estado y genere ahorros para los usuarios y, establecer la política pública de generación distribuida de mediano y largo plazo.

²⁷ Estrategia 2.3 Impulsar a la generación distribuida del Programa Especial de Transición Energética.

3.3. Comparación de dos instrumentos de política para el fomento de energías limpias

El presente ejercicio fue elaborado con la colaboración de la Agencia Danesa de Energía y el equipo UNAM/SIMISE, con el apoyo del Programa México-Dinamarca de Energía y Mitigación del Cambio Climático. Para la realización de este análisis se empleó el modelo Balmorel considerando los datos actuales del Sistema Eléctrico Mexicano y los desarrollos futuros esperados.

El modelo Balmorel, es una herramienta avanzada para optimizar el funcionamiento y el desarrollo de grandes sistemas eléctricos. Es un modelo fundamental, el cual considera la demanda horaria de energía y se describe cada planta de generación de manera individual, en los rubros de capacidad, tipo de combustible y eficiencia. El modelo optimiza la generación, teniendo en cuenta la capacidad de transmisión disponible.

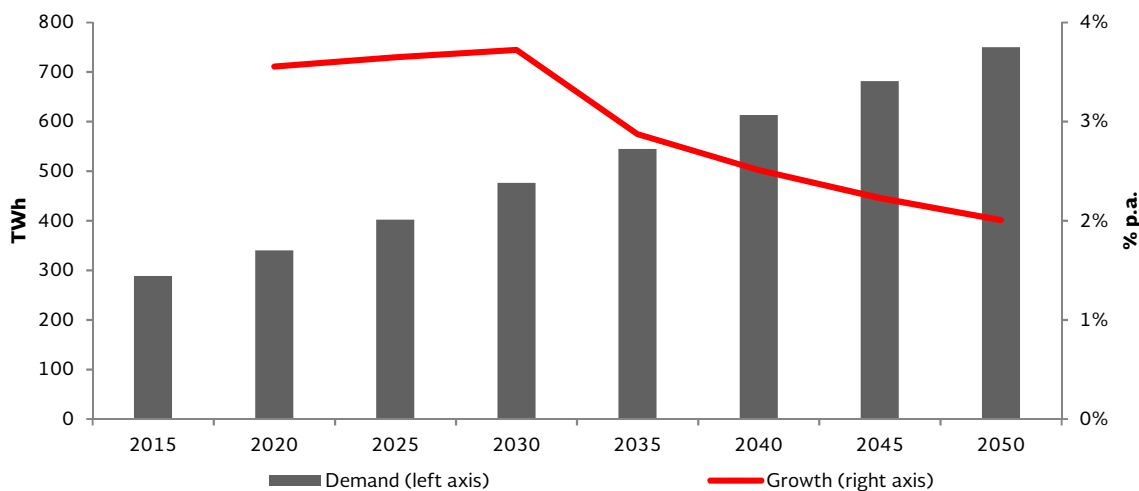
El ejercicio considera la expansión prevista de la energía limpia y su impacto en las emisiones de CO₂ y, a partir de ello, analiza dos instrumentos de política para el fomento de energías limpias. Los resultados se comparan con un escenario libre, o “no restringido” en el cual el modelo no tiene la obligación de cumplir con metas de energías limpias o de emisiones de CO₂, por lo que la selección de la capacidad a instalar se toma de acuerdo, exclusivamente, a la rentabilidad económica.

3.3.1. Datos y supuestos

El establecimiento de metas de energía limpia y las subastas para promover la inversión en energía limpia, reducirá las emisiones de CO₂, y la participación de la generación a partir de fuentes convencionales (carbón, petróleo, gas natural).

El punto de partida para este análisis del SEN es la demanda de electricidad. La demanda horaria se utiliza como entrada para cada una de las 53 regiones de transmisión. El pronóstico para el desarrollo hasta 2030 se ha tomado de PRODESEN 2016 y extrapolado hasta 2050, asumiendo un nivel de crecimiento anual absoluto, y consistente con el proyectado para el final del período en PRODESEN 2016, es decir, el período 2020-2030.

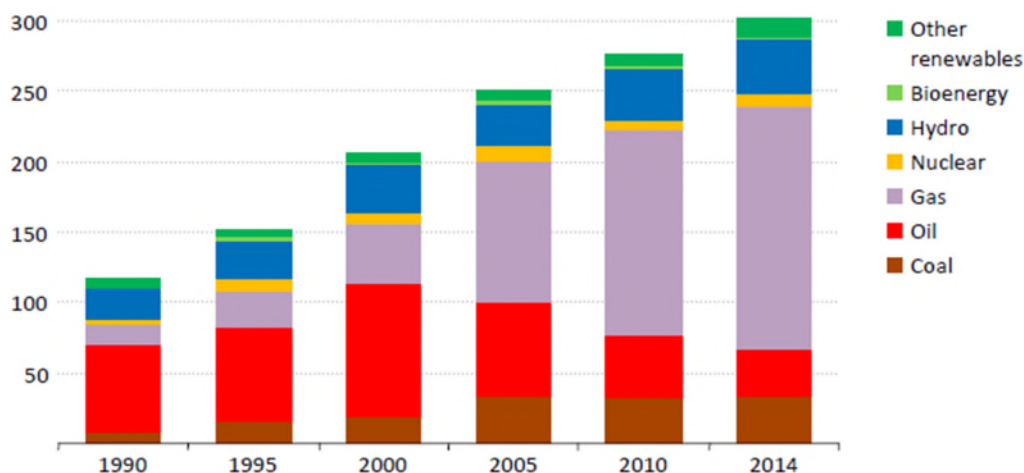
FIGURA 3. 5. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD MODELADA, Y LA TASA DE CRECIMIENTO ANUAL CORRESPONDIENTE
(TWh, % anual)



Fuente: SENER con información de Balmorel.

En el 2000, la demanda de electricidad en México fue alrededor de 200 TWh, y en 1990 alrededor de 115 TWh. En 1990, más de la mitad de la generación estaba basada en petróleo (AIE, 2016, b), vea la figura 3.6.

FIGURA 3. 6. GENERACIÓN HISTÓRICA DE ELECTRICIDAD EN MÉXICO POR TIPO DE COMBUSTIBLE
(TWh)



Fuente: SENER con información de Balmorel.

Para el cálculo de los costos marginales de generación, Balmorel emplea información sobre cada planta de generación de forma individual, incluyendo combustible, capacidad y eficiencia. Los costos marginales se utilizan para calcular el despacho óptimo, teniendo en cuenta las limitaciones de capacidad de transmisión entre regiones. El despacho óptimo se define como la asignación de generación que da el costo total del sistema más bajo. La capacidad existente en 2015 se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO 3. 2. CAPACIDAD DE GENERACIÓN EXISTENTE 2015
(MW)

Combustible	Unidades	Capacidad (MW)
Gas natural	176.0	26,422.0
Hidroeléctrico	74.0	12,468.0
Combustóleo	81.0	11,675.0
Carbón	6.0	5,378.0
Eólico	33.0	2,946.0
Aceite ligero	81.0	1,517.0
Nuclear	1.0	1,510.0
Geotérmica	14.0	926.0
Coque	2.0	580.0
Cogeneración	8.0	572.0
Solar	9.0	57.0
Total	481.0	64,051.0

Fuente: SENER.

La expansión de generación proyectada (PRODESEN, 2016) para generadores de gas natural y petróleo hasta 2020, y la cogeneración industrial, geotérmica e hidroeléctrica hasta 2030, se incluye en todos los escenarios. Ver cuadro 3.3. Para Baja California, se ha asumido, en contraste con PRODESEN, que no habrá gas natural disponible.

CUADRO 3. 3. ADICIONES EXÓGENAS A LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN REPRESENTADA EN EL MODELO
(MW)

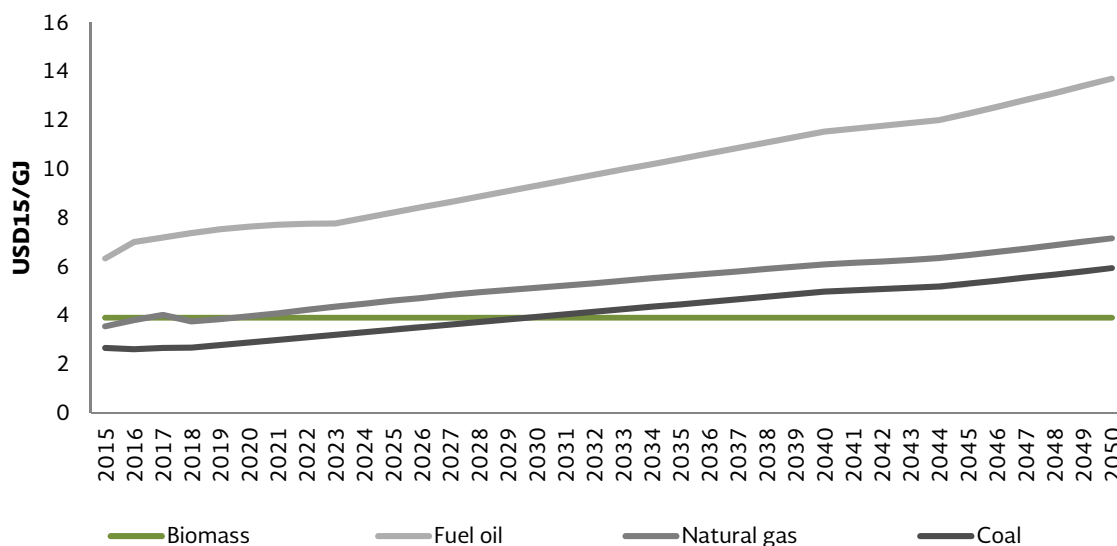
MW	2020	2025	2030	Total
Gas natural	17,283.0			17,283.0
Petróleo	261.0			261.0
Cogeneración	3,011.0	4,034.0		7,045.0
Hidroeléctrico	342.0	3,869.0	281.0	4,492.0
Geotérmica	336.0	441.0	118.0	895.0

Fuente: SENER.

El modelo invertirá en nueva generación y capacidad de transmisión cuando y donde sea económicamente atractivo. La selección parte de un catálogo de las tecnologías potenciales disponibles para nuevas inversiones, por ello, se invertirá en energía limpia (energía renovable, por ejemplo, eólica, solar y nuclear) si es económicamente atractiva, o para cumplir objetivos de energía limpia.

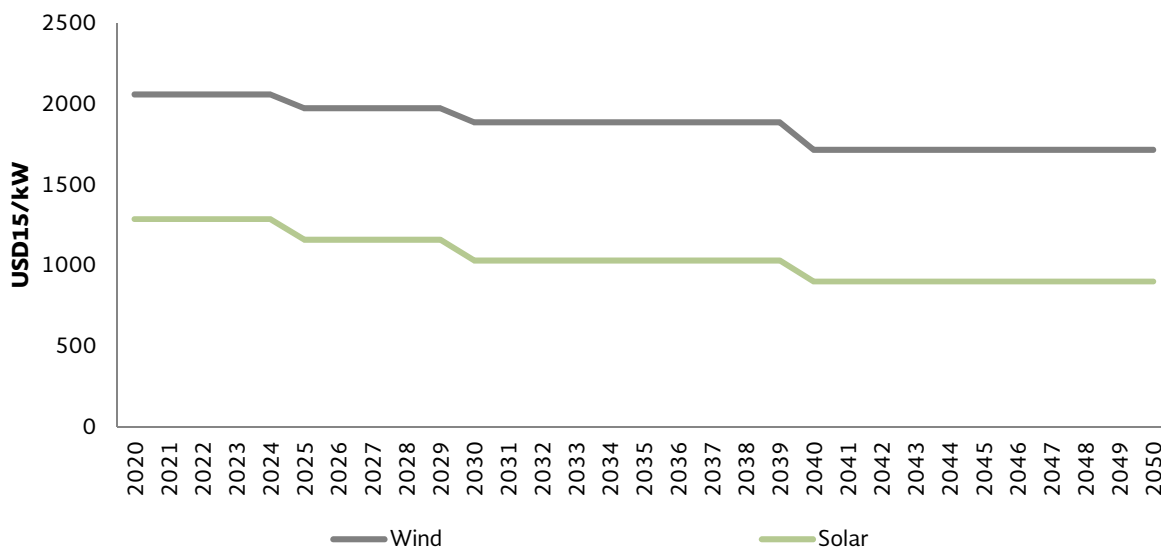
Se considera una mejora en la competitividad de la energía eólica y solar, debido a una reducción en los costos de inversión y un aumento de los costos de combustible, ver figura 3.7 y figura 3.8. Los costos de inversión pueden ser comparados, por ejemplo, a las de las tecnologías nucleares (6,281 USD por kW) o de gas natural (CCGT: 875 USD por kW).

FIGURA 3. 7. PROYECCIÓN DE DESARROLLO DE PRECIOS DE COMBUSTIBLE REPRESENTADA EN EL MODELO
(USD 2015/GJ)



Fuente: BALMOREL.

FIGURA 3. 8. PROYECCIONES DE DESARROLLO DE COSTOS DE INVERSIÓN PARA PLANTAS EÓLICAS Y SOLARES BASADAS EN TIERRA Y FOTOVOLTAICAS REPRESENTADAS EN EL MODELO



La tecnología de energía eólica representada, se basa en aerogeneradores de corte bajo (LCI), caracterizada por un 20% más de costos de inversión en comparación con las turbinas eólicas convencionales, pero mayor generación por MW instalado (FLH).
Fuente: BALMOREL.

Se han utilizado datos detallados sobre el recurso eólico y solar (Hahmann, 2016).

FIGURA 3. 9. VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN 2013
(m/s)

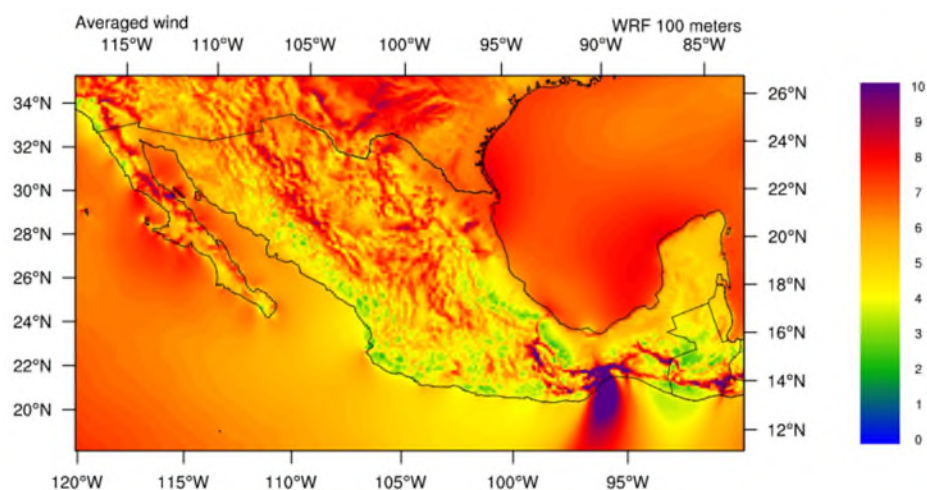


FIGURA 3. 10. VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA ANUAL DEL VIENTO EN MÉXICO
(m/s, a 100 metros de altura, promedio de todas las celdas de 5 x 5 km)

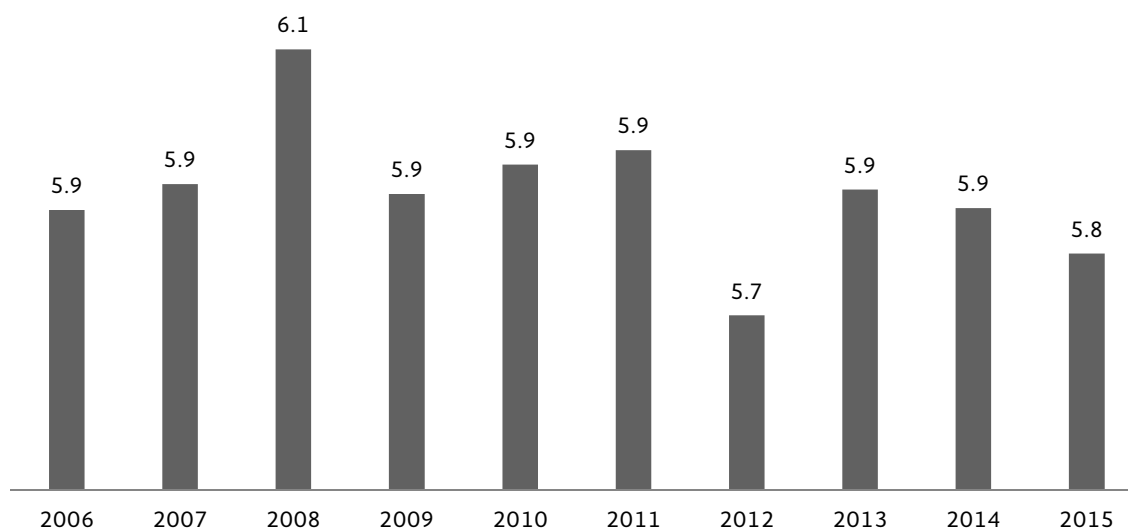
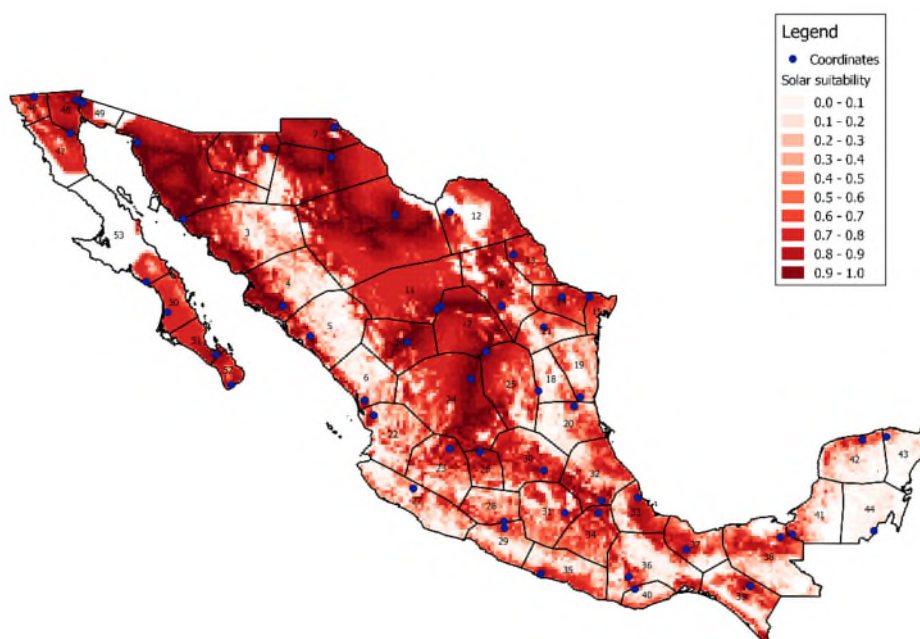


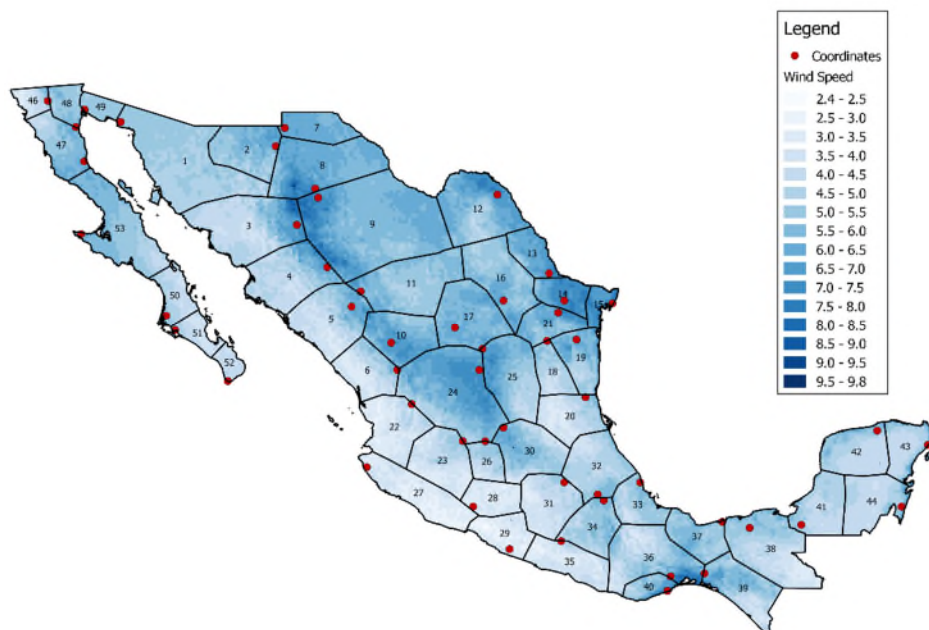
FIGURA 3. 11. UBICACIÓN DE LAS COORDENADAS DE LA SERIE SOLAR (PUNTOS AZULES)



El mapa solar de adecuación, ha calculado la adecuación solar basada en la irradiación, así como la información sobre la distancia a la red, densidad de población, topografía, cobertura de la tierra y áreas protegidas. Los lugares seleccionados tienen los índices de idoneidad más altos por región.

Fuente: IRENA (2015)

FIGURA 3. 12. UBICACIÓN DE LAS COORDENADAS DE LAS SERIES DE TIEMPO DEL VIENTO (PUNTOS ROJOS)



Los datos IRENA se utilizan para encontrar la ubicación dentro de cada región correspondiente al percentil 90 de la velocidad media más alta del viento dentro de cada región.

Para cada una de las 53 regiones de transmisión, se consideraron las velocidades del viento (m/s) y los datos solares (W/m^2) obtenidos del *Atlas Eólico de México*²⁸. El proyecto tiene datos del 2006 al 2015, se emplearon los correspondientes a 2013, ya que este año presentó una cifra cercana a la velocidad media del viento para el período (un "año de viento normal"). Los datos provienen de simulaciones meteorológicas que han sido reducidas a escala para producir resultados de mesoescala (5×5 km). Los resultados son preliminares y serán desarrollados y refinados mediante el uso de datos de un conjunto de mástiles de viento nuevos.

La información detallada sobre el recurso eólico y solar (valores horarios para 53 ubicaciones) es importante para describir el efecto de mejorar, por ejemplo, la variación en la velocidad del viento en un sitio específico. Por ejemplo, mientras que la menor velocidad del viento en un lugar específico es cercana a cero, la menor velocidad media del viento para la totalidad de las regiones es 21% del máximo.

3.3.2. Comparación de dos instrumentos de política

En el presente ejercicio se evalúan dos casos de política:

- El impacto de las metas de energía limpia. A partir de la comparación del escenario Sin Restricciones con el escenario Principal.
- El impacto de los Objetivos de energía limpia frente a los Objetivos de CO_2 . Comparando el escenario Principal (con objetivos de energía limpia) con el escenario de Objetivo de CO_2 , un escenario con un tope de CO_2 , limitando las emisiones de CO_2 a las obtenidas en el escenario

²⁸ Ver: Hahmann et al (2016).

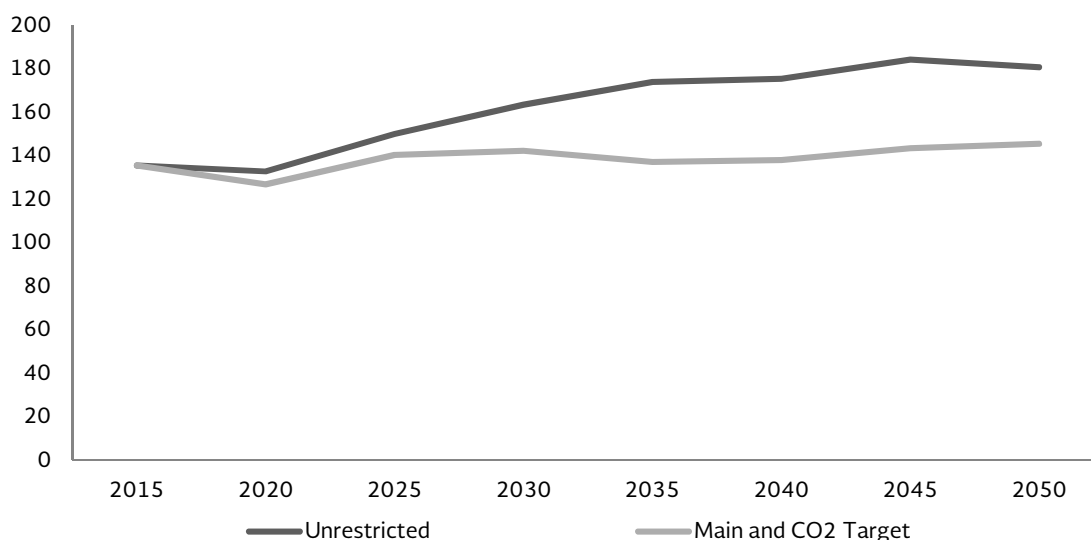
Principal. En realidad, un objetivo de CO₂ puede alcanzarse mediante cuotas, un precio de CO₂ o un impuesto sobre el CO₂ para todos los combustibles.

Emisiones

El escenario Principal y el escenario de Objetivo de CO₂, tienen niveles significativamente más bajos de emisiones²⁹ de CO₂ en comparación con el escenario No Restringido.

En el escenario No Restringido, el modelo puede invertir en generación basada en carbón, lo que resulta en un incremento en la capacidad de generación que va de 350 MW en 2020 a 1.300 MW en 2050. El carbón es más barato que el gas natural, pero los costos de inversión para las plantas de energía son más altos.

FIGURA 3. 13. EMISIÓN DE CO₂
(Millones de toneladas por año)

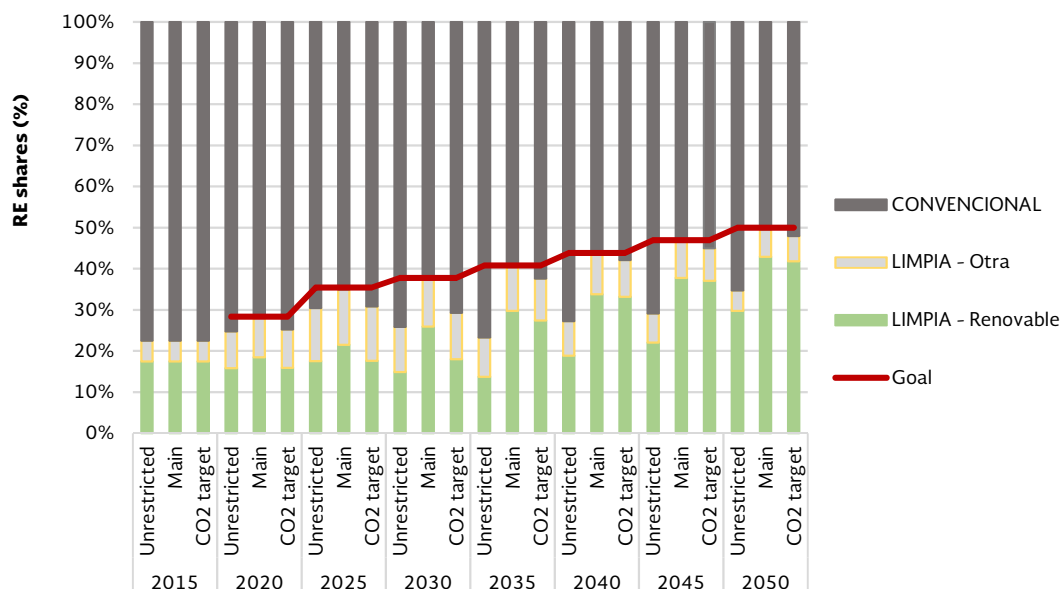


Fuente: Balmorel.

Como puede apreciarse en la figura 3.14, el escenario Principal es el único que cumple los objetivos de energía limpia. El escenario de Objetivo de CO₂ tiene las mismas emisiones, pero logra este objetivo a través de una menor generación con base en carbón y derivados del petróleo y mayor generación con base en gas natural. Este mecanismo es más claro en los años 2025 y 2030. En contraste, posterior a estos años, hay poca participación de derivados del petróleo y carbón en el escenario Principal.

²⁹ La emisión total de CO₂ de todos los sectores en México fue de 431 millones de toneladas en 2014 (IEA, 2016b). INECC (2016) indicó una emisión neta total de 492 millones de toneladas para 2013. Las emisiones en los escenarios No Restringidos pueden compararse con el escenario de business-as-usual del INDC: Esto tiene una emisión del sector de energía de 202 millones de toneladas en 2030, que es significativamente más que en nuestro escenario Sin Restricciones. El objetivo incondicional de 139 millones de toneladas es cercano al resultado en el escenario Principal.

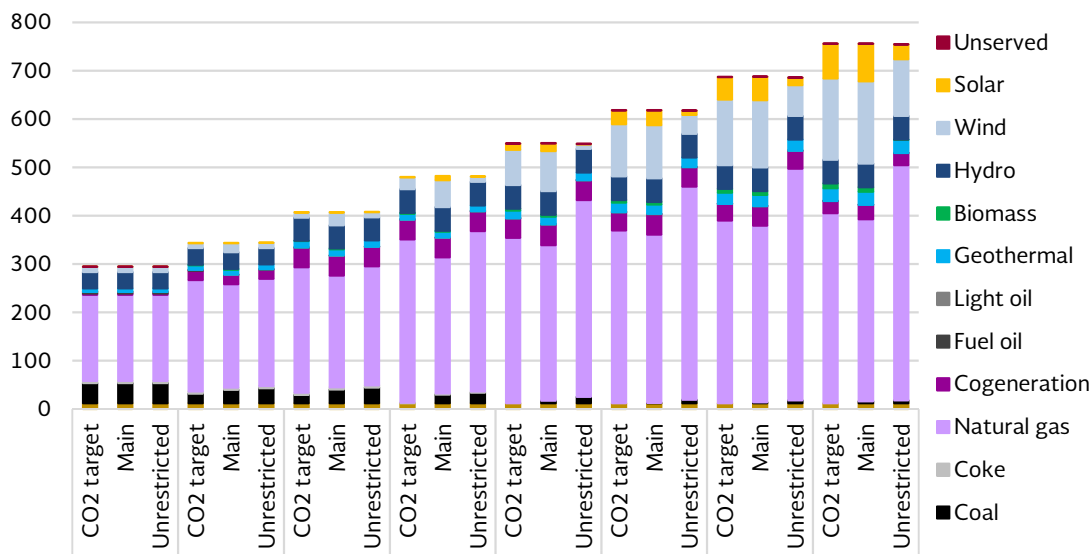
FIGURA 3. 14. PORCENTAJE DE ENERGÍA LIMPIA EN LOS TRES ESCENARIOS, MODELOS DE RESULTADOS



Fuente: Balmorel.

Las emisiones de CO₂ son las mismas en el Principal y en el escenario de Objetivo de CO₂. Sin embargo, difieren en cómo cada uno de estos escenarios alcanza este volumen de emisiones figura 3.15. En el escenario de Objetivo de CO₂, la generación de gas natural ha superado la generación de carbón y petróleo. Por lo tanto, se necesita menos energía limpia para cumplir el Objetivo de CO₂.

FIGURA 3. 15. GENERACIÓN EN ESCENARIO PRINCIPAL Y OBJETIVO DE CO₂, AÑOS ELEGIDOS (TWh)



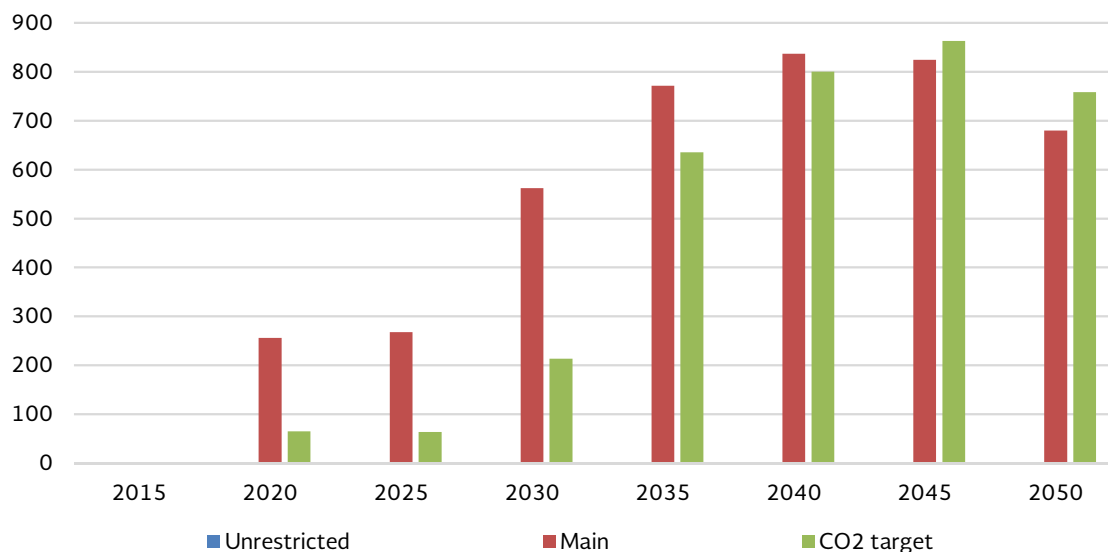
Fuente: Balmorel.

El uso de cuotas de CO₂ o fijación de precios para lograr el mismo nivel de emisión que se lograría con los Objetivos de energía limpia, reducirá los costos globales de mitigación. El costo adicional en la realización de la reducción de las emisiones de CO₂, es menor en los primeros años, por ejemplo, 350 millones USD por año en 2030, ó 1.5% menos de costos totales del sistema (sobre una base anualizada). Después de 2040, el escenario Objetivo de CO₂ se vuelve más caro. La mayor inversión realizada en el escenario Principal durante la primera parte del período, se traduce en una reducción en el costo hacia el final del periodo de estudio, figura 3.16.

En términos del valor presente neto, considerando un 10% de interés, el escenario Principal es supera en 2.229 millones USD al escenario No Restringido, mientras que el escenario de Objetivo de CO₂ lo hace en 1.472 millones USD. El escenario Objetivo de CO₂ es, por tanto, 1.357 millones USD más barato que el escenario Principal.

FIGURA 3. 16. EL COSTO TOTAL ANUALIZADO COMPARADO CON EL ESCENARIO SIN RESTRICCIONES

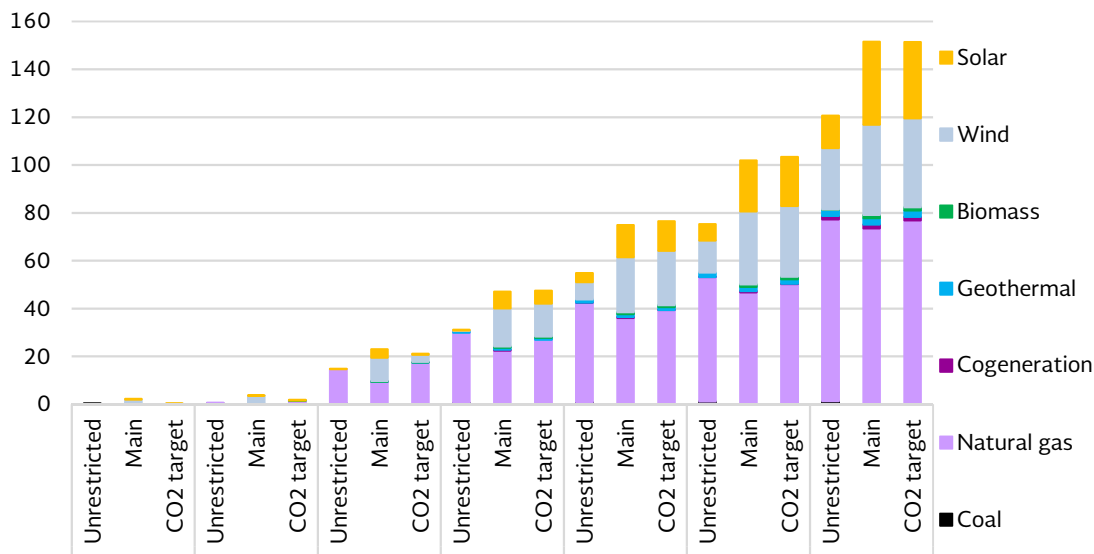
(Millones de dólares 2015/año)



Fuente: Balmorel.

En el escenario Objetivo de CO₂, la inversión en nueva generación, comparado con el Principal, se centra más en el gas natural, 3,267 MW más en 2030), y menos en energía eólica y solar, 3,028 MW menos eólica y 164 MW menos solar. La diferencia de capacidad se reduce en los años siguientes, como puede verse en la figura 3.17.

FIGURA 3. 17. INVERSIÓN BASADA EN MODELOS DE CAPACIDAD DE NUEVA GENERACIÓN EN TODOS LOS ESCENARIOS
(GW)

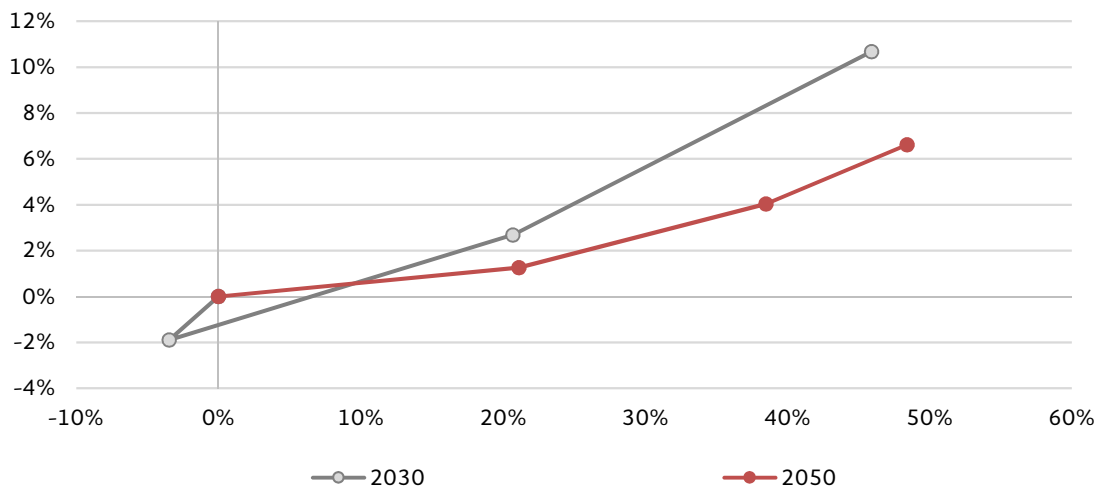


Fuente: Balmorel.

Con más energía eólica y solar en el sistema, la necesidad de transmisión aumenta. Por ello, el modelo invierte en capacidad de transmisión cuando es económicamente atractivo: por ejemplo, cuando la reducción en los costos totales es mayor que la inversión necesaria (expresada como costos anuales).

Una mayor capacidad de energía eólica y solar se traduce en menores costos de combustible, pero mayores costos de capital. La figura 3.18 ilustra cómo el costo de reducir las emisiones de CO₂, está aumentando. Por ejemplo, se puede lograr una reducción del 20% a un costo adicional de aproximadamente 2%. Una reducción del 50% aumentaría el costo alrededor de 11% en 2030 y 6% en 2050.

FIGURA 3. 18. AUMENTO EN LOS COSTOS TOTALES EN COMPARACIÓN CON EL ESCENARIO PRINCIPAL
(Porcentaje)



El panorama general, es que la gran proporción de energía eólica y solar se puede integrar de manera eficiente en el sistema mexicano. La cantidad de energía pérdida (curtailment) asociada a la generación eólica y solar, se presenta en volúmenes mínimos de reducción al final del período

Las principales conclusiones de este ejercicio son:

- Es posible operar el sistema eléctrico mexicano con un porcentaje muy alto de energía eólica y solar, por ejemplo, 61% en 2050. Este resultado se obtiene con una inversión óptima en la capacidad de transmisión. Sólo se pierde una cantidad de energía mínima (menos del 2%) de la energía eólica. La inversión en bombeo hidroeléctrico puede disminuir estos volúmenes.
- El uso de los objetivos de energía limpia tiene un impacto significativo en la emisión de CO₂.
- El desarrollo de los instrumentos de política puede reducir los costos totales, por ejemplo, con más coordinación internacional e intercambio de energía. El aumento de la capacidad de transmisión de los países vecinos, contribuirá a la integración de un mercado de generación más estable.

GLOSARIO

Adiciones de capacidad por modernización

Capacidad adicional que se obtiene en una central existente mediante mejoras en los procesos de generación o mediante la incorporación de adelantos tecnológicos.

Adiciones de capacidad por rehabilitación

Capacidad que podrá recuperarse mediante programas de reparación o sustitución de los componentes dañados en centrales cuya capacidad se ha degradado.

Aprovechamiento sustentable de la energía

El uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la Eficiencia Energética.

Arrendamiento

Es una forma de financiamiento en la cual el arrendador (cliente) acuerda pagar una cantidad a la compañía arrendadora de equipo(s), por el derecho de usarlo(s) durante un periodo determinado.

Autoabastecimiento

Es el suministro de los requerimientos de energía eléctrica de los miembros de una sociedad de particulares mediante una central generadora propia. Como modalidad definida por la CRE se entiende como: la generación de energía eléctrica para fines de autoconsumo siempre y cuando dicha energía se destine a satisfacer las necesidades de personas físicas o morales y no resulte inconveniente para el país.

Autoabastecimiento remoto

Es el suministro a cargo de proyectos de autoabastecimiento localizados en un sitio diferente al de la central generadora utilizando la red de transmisión del servicio público.

Bases del Mercado Eléctrico

Disposiciones administrativas de carácter general que contienen los principios del diseño y operación del Mercado Eléctrico Mayorista incluyendo las subastas a que se refiere la Ley de la Industria Eléctrica.

Cadenas de valor

El conjunto de actividades, tales como investigación y desarrollo, diseño, fabricación, ensamble, producción de partes, mercadeo, instalación, puesta en marcha, servicio y reciclaje, que un sector industrial realiza para entregar un bien.

Capacidad

Es la potencia máxima a la cual puede suministrar energía eléctrica una unidad generadora, una central de generación o un dispositivo eléctrico, la cual es especificada por el fabricante o por el usuario.

Capacidad adicional no comprometida

Capacidad adicional necesaria para satisfacer la demanda futura, cuya construcción o licitación aún no se ha iniciado. De acuerdo con la LSPEE y su Reglamento, estas adiciones de capacidad podrán ser cubiertas con proyectos de generación privados o la propia CFE.

Capacidad adicional total

Suma de la capacidad comprometida y de la capacidad adicional no comprometida.

Capacidad bruta	Es igual a la capacidad efectiva de una unidad, central generadora o sistema de generación.
Capacidad de placa	Es la capacidad definida por el fabricante en la placa de la unidad generadora o dispositivo eléctrico. Esta capacidad se obtiene generalmente cuando la unidad es relativamente nueva y opera bajo condiciones de diseño.
Capacidad de transmisión	Es la potencia máxima que se puede transmitir a través de una línea de transmisión, tomando en cuenta restricciones técnicas de operación como: límite térmico, caída de voltaje, límite de estabilidad, etc.
Capacidad efectiva	Es la capacidad de una unidad generadora que se determina tomando en cuenta las condiciones ambientales y el estado físico de las instalaciones, y corresponde a la capacidad de placa corregida por efecto de degradaciones permanentes debidas al deterioro o desgaste de los equipos que forman parte de la unidad.
Capacidad retirada	Capacidad que se pondrá fuera de servicio a lo largo del periodo, por terminación de la vida útil o económica de las instalaciones o por vencimiento de contratos de compra de capacidad.
Capacidad existente	Capacidad de los recursos disponibles en el sistema eléctrico (centrales de generación y compras de capacidad firme entre otras) al inicio del periodo decenal que comprende el estudio.
Capacidad neta	Es igual a la capacidad bruta de una unidad, central generadora o sistema eléctrico, a la cual se le ha descontado la capacidad que se requiere para los usos propios de las centrales generadoras.
Carga	Es la potencia requerida por los dispositivos de consumo y se mide en unidades de potencia eléctrica (Watts); cada vez que un usuario acciona un interruptor para conectar o desconectar un aparato de consumo eléctrico produce una variación en su demanda de electricidad.
Central Eléctrica	Instalaciones y equipos que, en un sitio determinado, permiten generar energía eléctrica y Productos Asociados.
Central Eléctrica Legada	Central Eléctrica que, a la entrada en vigor de la Ley de la Industria Eléctrica: a) es propiedad de los organismos, entidades o empresas del Estado y se encuentra en condiciones de operación, o b) cuya construcción y entrega se haya incluido en el Presupuesto de Egresos de la Federación en modalidad de inversión directa.
Certificado de Emisiones Contaminantes	Título emitido por la CRE para su venta en el Mercado Eléctrico Mayorista y que sirve para cumplir los requisitos obligatorios relativos al monto de gases de efecto invernadero emitido por las Centrales Eléctricas.

Centro de carga	Instalaciones y equipo que, en un sitio determinado, permiten que un usuario Final se suministre de energía eléctrica.
Certificado de Energías Limpias	Título emitido por la CRE que acredita la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de fuentes renovables o tecnologías limpias y que sirve para cumplir los requisitos obligatorios asociados al consumo de los Centros de Carga.
Cogeneración	Procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente, etc.). Como modalidad, es la producción de energía eléctrica en conjunto con vapor y/o energía térmica secundaria de otro tipo. Puede ser la producción directa e indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica residual de procesos que utilizan combustibles, o viceversa.
Consejo	Consejo Consultivo para la Transición Energética.
Comercializador	Titular de un contrato de Participante del Mercado que tiene por objeto realizar las actividades de comercialización.
Confiabilidad	Habilidad del Sistema Eléctrico Nacional para satisfacer la demanda eléctrica de los Usuarios Finales, conforme a los criterios respectivos que emita la CRE.
Contaminantes	Los referidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley General de Cambio Climático.
Continuidad	Satisfacción de la demanda eléctrica de los Usuarios Finales con una frecuencia de interrupciones menor a la establecida en los criterios respectivos que emita la CRE.
Contrato de Cobertura Eléctrica	Acuerdo entre Participantes del Mercado mediante el cual se obligan a la compraventa de energía eléctrica o Productos Asociados, o a la realización de pagos basados en los precios de los mismos, que serán efectuados en una hora o fecha futura y determinada.
Contrato de Interconexión Legado	Contrato de interconexión o contrato de compromiso de compraventa de energía eléctrica para pequeño productor celebrado o que se celebra bajo las condiciones vigentes con anterioridad a la entrada en vigor de la presente Ley.
Contrato Legado para el Suministro Básico	Contrato de Cobertura Eléctrica que los Suministradores de Servicios Básicos tendrán la opción de celebrar, con precios basados en los costos y contratos respectivos, que abarcan la energía eléctrica y Productos Asociados de las Centrales Eléctricas Legadas y las Centrales Externas Legadas.
Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional	La emisión de instrucciones relativas a: a) la asignación y despacho de las Centrales Eléctricas y de la Demanda Controlable;

	b) la operación de la Red Nacional de Transmisión que corresponda al Mercado Eléctrico Mayorista, y c) la operación de las Redes Generales de Distribución que corresponda al Mercado Eléctrico Mayorista.
Consumo	Energía entregada a los usuarios con recursos de generación del servicio público, (CFE, LFC y PIE), proyectos de autoabastecimiento y cogeneración, y a través de contratos de importación.
Curva de carga	Gráfica que muestra la variación de la magnitud de la carga a lo largo de un periodo determinado.
Decreto	Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en Materia de Energía, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de diciembre de 2013.
Degradación	Es la reducción obligada de la capacidad de una unidad como consecuencia de la falla o deterioro de uno de sus componentes o por cualquier otra condición limitante.
Demanda	Es la potencia a la cual se debe suministrar la energía eléctrica requerida en un instante dado. El valor promedio dentro de cierto intervalo es igual a la energía requerida entre el número de unidades de tiempo del intervalo (MWh/h).
Demanda base	Demanda horaria mínima dentro de cierto periodo (en la prospectiva se indica el promedio de las demandas mínimas diarias).
Demanda Controlable	Demanda de energía eléctrica que los Usuarios Finales ofrecen reducir conforme a las Reglas del Mercado.
Demanda Controlable Garantizada	Demanda Controlable que los Usuarios Finales o sus representantes se hayan comprometido a ofrecer en el Mercado Eléctrico Mayorista en un periodo dado, a fin de que dicha demanda se utilice para cumplir los requisitos de potencia a que se refiere el artículo 54 de esta Ley.
Derechos Financieros de Transmisión	El derecho y la obligación correlativa de recibir o pagar la diferencia que resulte de los componentes de congestiónamiento de los Precios Marginales Locales en dos nodos del Sistema Eléctrico Nacional. Para los efectos de documentar los Derechos Financieros de Transmisión, los estados de cuenta que emita el CENACE serán títulos ejecutivos.
Demanda máxima	Valor máximo de las demandas horarias en el año (MWh/h).
Demanda máxima coincidente	Es la demanda máxima que se observa en un sistema interconectado durante cierto periodo, la cual resulta menor que la suma de las demandas máximas de las áreas que integran el sistema ya que éstas ocurren en momentos diferentes debido a la diversidad regional y estacional de los patrones de consumo de la energía

	eléctrica.
Demanda máxima no coincidente	Es la suma de las demandas máximas de las áreas de un sistema eléctrico, sin considerar el tiempo en que se presentan. La demanda máxima no coincidente es mayor o igual a la demanda máxima coincidente.
Demanda media	Es igual a la energía necesaria en MWh en el año dividida entre el número de horas del año (MWh/h).
Disponibilidad	Factor que indica el porcentaje de tiempo en que una unidad generadora estuvo disponible para dar servicio, independientemente de que se haya requerido o no su operación. Este índice se calcula como el cociente entre la energía que la unidad produce anualmente con la capacidad disponible y la que generaría si estuviera utilizable 100%.
Disposiciones Operativas del Mercado	Bases operativas, criterios, guías, lineamientos, manuales, procedimientos y demás disposiciones emitidas por el CENACE, en los cuales se definirán los procesos operativos del Mercado Eléctrico Mayorista, de conformidad con las Bases del Mercado Eléctrico.
Eficiencia Energética	Todas las acciones que conlleven a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior.
Emisiones	Liberación de Gases de Efecto Invernadero o sus precursores y aerosoles a la atmósfera, incluyendo en su caso compuestos de efecto invernadero, en una zona y un periodo de tiempo específicos.
Empresa Generadora	Persona física o persona moral que representa una Central Eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista o es titular de un permiso para operar una Central Eléctrica sin participar en dicho mercado, conforme a lo dispuesto en la Ley de la Industria Eléctrica.
Energía bruta	Es la energía que debe ser suministrada por los diferentes recursos de capacidad con que cuenta el sistema eléctrico (generación propia, importación, excedentes de autoabastecedores), incluye la energía de las ventas, las pérdidas en transmisión, los usos propios de las centrales y la energía de exportación.
Energías fósiles	Aquellas que provienen de la combustión de materiales y sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que contienen carbono y cuya formación ocurrió a través de procesos geológicos.
Energías Limpias	Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Entre las Energías Limpias se consideran las siguientes: a) El viento;

- b) La radiación solar, en todas sus formas;
- c) La energía oceánica en sus distintas formas: maremotriz, maremotérmica, de las olas, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;
- d) El calor de los yacimientos geotérmicos;
- e) Los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos;
- f) La energía generada por el aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados en los sitios de disposición de residuos, granjas pecuarias y en las plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros;
- g) La energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno mediante su combustión o su uso en celdas de combustible, siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su ciclo de vida;
- h) La energía proveniente de centrales hidroeléctricas;
- i) La energía nucleoelectrica;
- j) La energía generada con los productos del procesamiento de esquilmos agrícolas o residuos sólidos urbanos (como gasificación o plasma molecular), cuando dicho procesamiento no genere dioxinas y furanos u otras emisiones que puedan afectar a la salud o al medio ambiente y cumpla con las normas oficiales mexicanas que al efecto emita la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
- k) La energía generada por centrales de cogeneración eficiente en términos de los criterios de eficiencia emitidos por la CRE y de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
- l) La energía generada por ingenios azucareros que cumplan con los criterios de eficiencia que establezca la CRE y de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
- m) La energía generada por centrales térmicas con procesos de captura y almacenamiento geológico o biosecuestro de bióxido de carbono que tengan una eficiencia igual o superior en términos de kWh-generado por tonelada de bióxido de carbono equivalente emitida a la atmósfera a la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
- n) Tecnologías consideradas de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales,
- o) Otras tecnologías que determinen la Secretaría y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con base en parámetros y normas de eficiencia energética e hídrica, emisiones a la atmósfera y generación de residuos, de manera directa, indirecta o en ciclo de vida.

Energía neta

Es la energía total entregada a la red y es igual a la generación neta de las centrales del sistema más la energía de importaciones de otros sistemas eléctricos, más la energía adquirida de excedentes de autoabastecedores. y cogeneradores.

Energías Renovables

Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes. Se

consideran fuentes de Energías Renovables las que se enumeran a continuación:

- a) El viento;
- b) La radiación solar, en todas sus formas;
- c) El movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 watts/m² ;
- d) La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: de las mareas, del gradiente térmico marino, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;
- e) El calor de los yacimientos geotérmicos, y
- f) Los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se define a partir del “efecto fotovoltaico”, que ocurre cuando los fotones de la luz del sol excitan a niveles de energía más altos a los electrones “sueltos” de los átomos del material semiconductor sobre el cual incide. Cuando esta propiedad de la luz es combinada con las propiedades de dichos materiales, los electrones fluyen a través de una interfaz y se crea una diferencia de potencial.

Energía solar térmica

La tecnología termosolar produce electricidad concentrando la radiación solar para calentar y producir vapor de agua y hacerlo pasar por una turbina de la misma forma que se realiza en una central termoeléctrica o de ciclo combinado.

Estrategia

La Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

Exportación

(modalidad)

Es la generación de energía eléctrica para destinarse al comercio exterior, a través de proyectos de cogeneración, producción independiente y pequeña producción que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos.

Los permisionarios en esta modalidad no pueden enajenar dentro del territorio nacional la energía eléctrica generada, salvo que obtengan permiso de la CRE para realizar dicha actividad en la modalidad de que se trate.

Externalidades

Los impactos positivos o negativos que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan o que pudieran afectar a una tercera persona. Las externalidades ocurren cuando el costo pagado por un bien o servicio es diferente del costo total de los daños y beneficios en términos económicos, sociales, ambientales y a la salud, que involucran su producción y consumo.

Factor de carga

Es la relación entre la demanda media y el valor de la demanda máxima registrada en un periodo determinado. El factor de carga se acerca a la unidad a medida que la curva de carga es más plana. Recuérdese que si el factor de carga es cercano a la unidad significa un uso más intensivo y continuo de los equipos.

Factor de diversidad	Es la relación entre la suma de las demandas máximas individuales de dos o más cargas y la demanda máxima del conjunto. Un factor mayor a uno significa que las demandas máximas no ocurren simultáneamente.
Factor de planta	Es un indicador del grado de utilización de la capacidad de unidades generadoras en un periodo específico. Se calcula como el cociente entre la generación media de la unidad y su capacidad efectiva.
Gas dulce	Gas natural que sale libre de gases ácidos de algunos yacimientos de gas no asociado o que ha sido tratado en plantas endulzadoras.
Gas natural	Mezcla de hidrocarburos constituida principalmente por metano que se encuentra en los yacimientos en solución o en fase gaseosa con el crudo, o bien en yacimientos que no contienen aceite.
Gas natural licuado	Gas natural compuesto predominantemente de metano (CH ₄), que ha sido licuado por compresión y enfriamiento, para facilitar su transporte y almacenamiento.
Gas seco	Gas Natural que contiene cantidades menores de hidrocarburos más pesados que el metano. También se obtiene de las plantas de proceso.
Generación bruta	Es la energía que se produce en las centrales eléctricas, medida en las terminales de los generadores. Una parte pequeña de esta energía es utilizada para alimentar los equipos auxiliares de la propia central (usos propios) y el resto es entregado a la red de transmisión (generación neta).
Generación Distribuida	Generación de energía eléctrica que cumple con las siguientes características: a) Se realiza por un Generador Exento en los términos de esta Ley, y b) Se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado.
Generación neta	Es la energía eléctrica que una central generadora entrega a la red de transmisión y es igual a la generación bruta menos la energía utilizada en los usos propios de la central.
Generación distribuida	limpia Generación de energía eléctrica que, en los términos de la Ley de la Industria Eléctrica, cumple con las siguientes características: a) Se realiza por un Generador Exento; b) Se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado, y c) Se realiza a partir de Energías Limpias

Generador		Titular de uno o varios permisos para generar electricidad en Centrales Eléctricas, o bien, titular de un contrato de Participante del Mercado que representa en el Mercado Eléctrico Mayorista a dichas centrales o, con la autorización de la CRE, a las Centrales Eléctricas ubicadas en el extranjero.
Generador Exento		Propietario o poseedor de una o varias Centrales Eléctricas que no requieren ni cuenten con permiso para generar energía eléctrica en términos de esta Ley.
Huella de Carbono		La medida de la cantidad total de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero de una población definida, sistema o actividad, considerando todas las fuentes, sumideros y almacenamientos relevantes dentro de los límites espaciales y temporales de una población, sistema o actividad de interés. Se calcula utilizando como referente el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono.
Importación (modalidad)		Es la adquisición de energía eléctrica proveniente de plantas generadoras establecidas en el extranjero mediante actos jurídicos celebrados directamente entre el abastecedor de la energía eléctrica y el consumidor de la misma.
Indisponibilidad		Estado donde la unidad generadora está inhabilitada total o parcialmente para suministrar energía por causa de alguna acción programada o fortuita tal como: mantenimiento, falla, degradación de capacidad y/o causas ajenas.
Indisponibilidad causas ajenas	por	Indicador del porcentaje de tiempo que una unidad generadora está fuera de operación a causa de la ocurrencia de algún evento o disturbio ajeno a la central como: falla en las líneas de transmisión, fenómenos naturales, falta de combustible, etc.
Indisponibilidad degradación	por	Factor que indica el porcentaje de tiempo en que la unidad o central generadora disminuyó su potencia máxima, sin salir de línea, por problemas de funcionamiento en algunos de sus componentes.
Indisponibilidad por fallas		Factor que indica el porcentaje de tiempo en que la unidad o central generadora estuvo fuera de operación, debido a la salida total de una unidad generadora, por la ocurrencia de fallas en los equipos de la central.
Indisponibilidad mantenimiento	por	Factor que indica el porcentaje de tiempo en que la unidad estuvo no disponible debido a las salidas para realizar los trabajos propios de conservación del equipo principal.
Industria Eléctrica		Las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, así como la operación del Mercado Eléctrico Mayorista.
Ingresos Recuperables		Costos que los Suministradores Básicos tendrán derecho a recuperar por la prestación del Suministro Básico y que incluyen energía eléctrica, Productos Asociados, Contratos de Cobertura Eléctrica y operación propia.

Instrumentos de planeación	de	La Estrategia, el Programa y el PRONASE.
Margen de reserva		Diferencia entre la capacidad efectiva y la demanda máxima coincidente de un sistema eléctrico, expresada como porcentaje de la demanda máxima.
Margen de reserva operativo		Diferencia entre la capacidad disponible y la demanda máxima coincidente de un sistema eléctrico, expresada como porcentaje de la demanda máxima. Donde la capacidad disponible es igual a la capacidad efectiva del sistema, menos la capacidad fuera de servicio por mantenimiento, falla, degradación y causas ajenas.
Mecanismo Flexible de Compensación		Acciones de mitigación en otros sectores que cumplan con los protocolos reconocidos internacionalmente para el cálculo y monitoreo de la reducción de emisiones alcanzada.
Megawatt (MW)		Unidad de potencia igual a 1,000,000 de Watts
Megawatt hora (MWh)		Unidad de energía. En electricidad es la energía consumida por una carga de un MW durante una hora.
Mercado Mayorista	Eléctrico	Mercado operado por el CENACE en el que los Participantes del Mercado podrán realizar las transacciones señaladas en el artículo 96 de esta Ley.
Participante del Mercado		Persona que celebra el contrato respectivo con el CENACE en modalidad de Generador, Comercializador, Suministrador, Comercializador no Suministrador o Usuario Calificado.
Pequeña producción		Es la generación de energía eléctrica destinada a: La venta a CFE en su totalidad, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor que 30 MW en un área determinada, o al autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW, o a la exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.
Pérdidas		Término aplicado a la energía (MWh) o a la potencia eléctrica (MW), que se pierde en los procesos de transmisión y distribución. Las pérdidas se deben principalmente a la transformación de una parte de la energía eléctrica en calor disipado en los conductores o aparatos.
Permisionario		Los titulares de permisos de generación, exportación o importación de energía eléctrica.

Práctica Prudente	La adopción de las mejores prácticas de la industria relacionadas con los costos, inversiones, operaciones o transacciones, que se llevan a cabo en condiciones de eficiencia e incorporando los mejores términos comerciales disponibles al momento de su realización.
Precio Marginal Local	Precio de la energía eléctrica en un nodo determinado del Sistema Eléctrico Nacional para un periodo definido, calculado de conformidad con las Reglas del Mercado y aplicable a las transacciones de energía eléctrica realizadas en el Mercado Eléctrico Mayorista.
Producción independiente	Es la generación de energía eléctrica proveniente de una planta con capacidad mayor que 30 MW, destinada exclusivamente a su venta a la CFE o -previo permiso de la Secretaría de Energía en los términos de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica-, a la exportación.
Productos Asociados	Productos vinculados a la operación y desarrollo de la industria eléctrica necesarios para la eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional, entre los que se encuentran: potencia, Servicios Conexos, Certificados de Energías Limpias, Derechos Financieros de Transmisión, servicios de transmisión y distribución y Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional, así como los otros productos y derechos de cobro que definan las Reglas del Mercado.
Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional	Documento expedido por la Secretaría que contiene la planeación del Sistema Eléctrico Nacional, y que reúne los elementos relevantes de los programas indicativos para la instalación y retiro de Centrales Eléctricas, así como los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución.
Proyecto de autoabastecimiento	Desarrollo de una unidad de generación construida por particulares, con la finalidad de abastecer los requerimientos de energía eléctrica propia o entre los miembros de una sociedad de particulares.
Proyectos por Particulares	Sustituye a la figura de permisionarios a la entrada en vigor de la Ley de la Industria Eléctrica.
Red	Conjunto de elementos de transmisión, transformación y compensación, interconectados para el transporte de energía.
Red Eléctrica	Sistema integrado por líneas, subestaciones y equipos de transformación, compensación, protección, conmutación, medición, monitoreo, comunicación y operación, entre otros, que permiten la transmisión y distribución de energía eléctrica.
Red Eléctrica Inteligente	Red Eléctrica que integra tecnologías avanzadas de medición, monitoreo, comunicación y operación, entre otros, a fin de mejorar la eficiencia, Confiabilidad, Calidad o seguridad del Sistema Eléctrico Nacional.

Redes Generales de Distribución	Redes Eléctricas que se utilizan para distribuir energía eléctrica al público en general.
Red Nacional de Transmisión	Sistema integrado por el conjunto de las Redes Eléctricas que se utilizan para transportar energía eléctrica a las Redes Generales de Distribución y al público en general, así como las interconexiones a los sistemas eléctricos extranjeros que determine la Secretaría.
Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución	Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución.
Redes Particulares	Redes Eléctricas que no forman parte de la Red Nacional de Transmisión o de las Redes Generales de Distribución.
Reglas del Mercado	Conjuntamente, las Bases del Mercado Eléctrico y las Disposiciones Operativas del Mercado, que rigen al Mercado Eléctrico Mayorista.
Retorno Objetivo	La tasa esperada de rendimiento para las inversiones del Estado en la industria eléctrica, utilizada para efectos de lo dispuesto en los artículos 31, 148, 149 y 150 de esta Ley.
Sector eléctrico (SE)	Conjunto de participantes, públicos y privados, que intervienen en los procesos de generación, transmisión, y distribución de la energía eléctrica.
Secretaría	Secretaría de Energía.
Servicios Conexos	Los servicios vinculados a la operación del Sistema Eléctrico Nacional y que son necesarios para garantizar su Calidad, Confiabilidad, Continuidad y seguridad, entre los que se podrán incluir: las reservas operativas, las reservas rodantes, la regulación de frecuencia, la regulación de voltaje y el arranque de emergencia, entre otros, que se definan en las Reglas del Mercado.
Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica	Las actividades necesarias para llevar a cabo la transmisión y distribución de energía eléctrica en la Red Nacional de Transmisión y en las Redes Generales de Distribución.
Sincronismos	Es la forma en que todos los generadores conectados a una red de corriente alterna deben mantenerse operando para garantizar una operación estable del sistema eléctrico. En esta forma de operación, la velocidad eléctrica de cada generador (velocidad angular del rotor por el número de pares de polos) se mantiene igual a la frecuencia angular del voltaje de la red en el punto de conexión.
Sistema Eléctrico Nacional (SEN)	Integrado por los participantes públicos y privados, conectados a la red eléctrica nacional, y que intervienen en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Sistema Interconectado Nacional (SIN)	Sistemas eléctricos regionales que comparten a través de sus enlaces sus recursos de capacidad y funcionamiento económico, confiable y eficiente en su conjunto.
Sistema mallado	Un sistema eléctrico se considera fuertemente mallado cuando las subestaciones que lo integran están conectadas entre sí mediante múltiples enlaces, lo que permite preservar la operación estable del sistema ante la desconexión súbita de algunos de sus elementos. Es una medida de la redundancia del sistema.
Subestación	Conjunto de equipos eléctricos, localizados en un mismo lugar y edificaciones necesarias para la conversión o transformación de energía eléctrica a un nivel diferente de tensión, y para el enlace entre dos o más circuitos.
Suministrador	Empresa encargada del suministro de energía eléctrica en México. Comisión Federal de Electricidad.
Suministrador de Servicios Básicos	Permisionario que ofrece el Suministro Básico a los Usuarios de Suministro Básico y representa en el Mercado Eléctrico Mayorista a los Generadores Exentos que lo soliciten.
Suministrador de Servicios Calificados	Permisionario que ofrece el Suministro Calificado a los Usuarios Calificados y puede representar en el Mercado Eléctrico Mayorista a los Generadores Exentos en un régimen de competencia.
Suministrador de Último Recurso	Permisionario que ofrece el Suministro de Último Recurso a los Usuarios Calificados y representa en el Mercado Eléctrico Mayorista a los Generadores Exentos que lo requieran.
Suministro Básico	El Suministro Eléctrico que se provee bajo regulación tarifaria a cualquier persona que lo solicite que no sea Usuario Calificado.
Suministro Calificado	El Suministro Eléctrico que se provee en un régimen de competencia a los Usuarios Calificados.
Suministro de Último Recurso	El Suministro Eléctrico que se provee bajo precios máximos a los Usuarios Calificados, por tiempo limitado, con la finalidad de mantener la Continuidad del servicio cuando un Suministrador de Servicios Calificados deje de prestar el Suministro Eléctrico.
Suministro Eléctrico	Conjunto de productos y servicios requeridos para satisfacer la demanda y el consumo de energía eléctrica de los Usuarios Finales, regulado cuando corresponda por la CRE, y que comprende: a) Representación de los Usuarios Finales en el Mercado Eléctrico Mayorista; b) Adquisición de la energía eléctrica y Productos Asociados, así como la celebración de Contratos de Cobertura Eléctrica, para satisfacer dicha demanda y

	consumo;
	c) Enajenación de la energía eléctrica para su entrega en los Centros de Carga de los Usuarios Finales, y
	d) Facturación, cobranza y atención a los Usuarios Finales
Tarifas Reguladas	Las contraprestaciones establecidas por la CRE para los servicios de transmisión, distribución, operación de los Suministradores de Servicios Básicos, operación del CENACE y Servicios Conexos no incluidos en el Mercado Eléctrico Mayorista.
Tecnologías Inteligentes	Las tecnologías utilizadas en las Redes Eléctricas Inteligentes que involucran procesos en tiempo real, automatizados o interactivos para optimizar la operación de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución, así como los aparatos y equipos inteligentes de los usuarios.
Transportista	Los organismos o empresas productivas del Estado, o sus empresas productivas subsidiarias, que presten el Servicio Público de Transmisión de Energía Eléctrica.
Usuario Calificado	Usuario Final que cuenta con registro ante la CRE para adquirir el Suministro Eléctrico como Participante del Mercado o mediante un Suministrador de Servicios Calificados.
Usuario de Patrón de Alto Consumo	Persona física o moral que cumpla con los criterios que establezca la CONUEE.
Usuario de Suministro Básico	Usuario Final que adquiere el Suministro Básico, y
Usuario Final	Persona física o moral que adquiere, para su propio consumo o para el consumo dentro de sus instalaciones, el Suministro Eléctrico en sus Centros de Carga, como Participante del Mercado o a través de un Suministrador.
Voltaje	Potencial electromotriz entre dos puntos medido en voltios.

ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor
AIE	Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency-IEA)
APF	Administración Pública Federal
AT	Alta tensión
AUT	Autoabastecimiento
BP	British Petroleum
BWR	Boiling Water Reactor
CAR	Carboeléctrica
CAC	Capacidad de plantas de autoabastecimiento y cogeneración
CAT	Construcción Arrendamiento-Transferencia
CC	Ciclo combinado
Cenace	Centro Nacional de Control de Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CI	Combustión Interna
CNA	Comisión Nacional del Agua
CO ₂	Dióxido de carbono
COG	Cogeneración
Conuee	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
Conapo	Consejo Nacional de Población
COPAR	Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CSP	Capacidad de plantas para el servicio público
CTCP	Costo Total de Corto Plazo
DAC	Tarifa Doméstica de Alto Consumo
DAL	Demanda autoabastecida de forma local
DAR	Demanda autoabastecida de forma remota

DOE	Departamento de Energía (Department of Energy)
DOF	Diario Oficial de la Federación
DSP	Demanda de usuarios del servicio público
EIA	Energy Information Administration
EOL	Eoloeléctrica
EPE	El Paso Electric Company
ERCOT	Electric Reliability Council of Texas
EUA	Estados Unidos de América
FBR	Fast Breeder Reactor
Fide	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
FRCC	Florida Reliability Coordinating Council
GCR	Gas Cooled Reactor
GEO	Geotermoeléctrica
GNL	Gas Natural Licuado
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
HID	Hidroeléctrica
IAEA	International Atomic Energy Agency
IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
km-c	Kilómetro-circuito
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
LSPEE	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
LWGR	Light Water Graphite Reactor
mmpcd	Millones de pies cúbicos diarios

MR	Margen de Reserva
MRO	Margen de Reserva Operativo
MT	Media tensión
MVA	Megavolt ampere
MW	Megawatt
MWe	Megawatt eléctrico
MWh	Megawatt-hora
n.d.	No disponible
NERC	North American Electric Reliability Corporation
NGL	Nueva Generación Limpia
NOM	Norma Oficial Mexicana
NPCC	Northeast Power Coordinating Council
NTG	Nuevas Tecnologías de Generación
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
OPF	Obra Pública Financiada
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional
PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PEF	Presupuesto de Egresos de la Federación
Pemex	Petróleos Mexicanos
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor
PIB	Producto Interno Bruto
PIE	Productor Independiente de Energía
PRC	Programa de Requerimientos de Capacidad
PRIS	Power Reactor Information System
PWR	Pressurized Water Reactor
R/P	Relación reservas-producción
SE	Secretaría de Economía

SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía
SERC	Southeastern Electric Reliability Council
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SPP	Southwest Power Pool
SOx	Óxidos de azufre
TA	Temporada Abierta
TC	Termoeléctrica Convencional
TG	Turbogás
TGM	Turbogás Móvil
Tmca	Tasa media de crecimiento compuesto anual
TWh	Terawatt-hora
VFT	Variable Frequency Transformer

REFERENCIAS

Ea Energy Analyses (2016, b): Escenarios de energía renovable para México. Informe de datos.

Gobierno de la República (2015): Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC). México.

Hahmann, Andrea N; Peña Díaz, Alfredo; Hansen, Jens Carsten (2016): WRF Mesoescala Preliminar para el Atlas Eólico de México. DTU Energía Eólica. (DTU de Energía Eólica E, Vol. E-0126).

IEA (2015): Perspectivas mundiales de la energía 2015

IEA (2016, a): Informe de Mercado a Mediano Plazo. Energías renovables, 2016. Análisis de Mercado y Pronósticos para 2021.

IEA (2016, b): Perspectiva Energética de México. Informe Especial de Perspectivas Energéticas Mundiales.

IEA (2016, c): Perspectivas Energéticas Mundiales 2016

IEA (2016, d): Inversión Mundial en Energía 2016

IEA (2016, e): Energías renovables. Informe de Mercado a Mediano Plazo. Análisis de mercado y pronósticos para 2021.

INECC (2016): Potencial de Mitigación en México. Claudia Octaviano Villasana, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

IRENA (2015): Atlas Mundial de Energías Renovables

NVE (2016): Mercado noruego-sueco de certificados de electricidad. Reporte anual 2015. La Dirección de Recursos Hídricos y Energía de Noruega y la Agencia Sueca de Energía

PMR (2012): Comercio de Emisiones Domésticas. Esquemas Existentes y Pro-puestos. Nota Técnica 2. Abril 2012. Asociación para la Preparación del Mer-cado.

SEMARNAT (2016): Política Nacional de Precios de Carbono México. Evento paralelo de PMR Turquía. COP-22, Marrakech. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SENER (2016): Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2030 - PRODESEN 2016, Ciudad de México, Secretaría de Energía.

Direcciones electrónicas internacionales de interés general y específico:

http://energy.gov	U.S. Department of Energy
http://www.eia.gov	U.S. Energy Information Administration
http://www.nrel.gov	National Renewable Energy Laboratory
http://www.iea.org	International Energy Agency
http://www.iaea.org	International Atomic Energy Agency
http://www.imf.org/external/index.htm	Fondo Monetario Internacional
http://www.oecd.org Económico	Organización para la Cooperación y el Desarrollo
http://www.worldenergy.org	Consejo Mundial de Energía
http://www.olade.org.ec/intro	Organización Latinoamericana de Energía
http://www.wwindea.org/home/index.php	World Wind Energy Association
http://www.gwec.net	Global Wind Energy Council
http://www.geothermal-energy.org	International Geothermal Association
http://www.solarpaces.org/inicio.php	Solar Power and Chemical Energy Systems

Notas aclaratorias:

- La suma de los datos numéricos o porcentuales en el texto, cuadros, tablas, gráficas o figuras, podría no coincidir con exactitud con los totales, debido al redondeo de cifras.
- La información correspondiente al último año histórico está sujeta a revisiones posteriores.
- De manera análoga al caso de suma de cifras, el cálculo manual de tasas de crecimiento promedio anual podría no coincidir en forma precisa con los valores reportados debido al redondeo de cifras.
- En la modalidad de Productor Independiente de Energía (PIE), las cifras reportadas bajo el concepto capacidad autorizada y capacidad en operación no necesariamente deben coincidir con las cifras reportadas bajo el concepto de capacidad neta contratada por CFE.

Referencias para la recepción de comentarios

Los lectores interesados en aportar comentarios, realizar observaciones o formular consultas pueden dirigirse a:

Subsecretaría de Planeación y Transición Energética

Secretaría de Energía

Insurgentes Sur 890, piso 3, Col. del Valle

México D.F. 03100

Tel: +(5255) 5000-6000 ext. 2217

Coordinación de la publicación:

Dirección General de Planeación e Información Energéticas

Tel: +(5255) 5000-6000 ext. 2477, 2217, 2097, 2207

E-mail: prospectivas@energia.gob.mx

aubaldo@energia.gob.mx