SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

Prospectiva de Energías Renovables

2017-2031

Prospectiva de Energías Renovables

2017-2031

SENER

SECRETARÍA DE ENERGÍA

México, 2017

SECRETARÍA DE ENERGÍA

Pedro Joaquín Coldwell
Secretario de Energía

Leonardo Beltrán Rodríguez
Subsecretario de Planeación y Transición Energética

Fernando Zendejas Reyes
Subsecretario de Electricidad

Aldo Flores Quiroga
Subsecretario de Hidrocarburos

Gloria Brasdefer Hernández
Oficial Mayor

Rafael Alexandri Rionda
Director General de Planeación e Información Energéticas

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)

Efraín Villanueva Arcos
Director General de Energías Limpias
(evillanueva@energia.gob.mx)

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

Fabiola Rodríguez Bolaños
Directora de Integración de Prospectivas del Sector
(frodriguez@energia.gob.mx)

Jessica Susana Rodríguez Aguilar
Directora de Energías Renovables
(jsrodriguez@energia.gob.mx)

Michelle Ramírez Bueno
Directora de Geotermia
(maramirez@energia.gob.mx)

Sergio Gasca Álvarez
Director de Bioenergéticos
(sgasca@energia.gob.mx)

Alain de los Ángeles Ubaldo Higuera
Subdirectora de Consumo Energético
(aubaldo@energia.gob.mx)

Eder García Jimenez
Subdirector de Planeación e Integración Energética
(egarciaj@energia.gob.mx)

Thalia Ramírez Flores
Jefa de Departamento de Política Energética
(tramírez@energia.gob.mx)

Fidel Carrasco González
Consultor externo con el apoyo de la iniciativa Climática de México, ICM

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

2017. 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

Instituto Nacional de Investigaciones Eléctricas y Energías Limpias

National Renewable Energy Laboratory

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 de Cuadros 7

Índice de Tablas 7

Índice de Figuras 8

Presentación 11

Introducción 12

Resumen Ejecutivo 13

1. Marco Normativo y regulatorio de las Energías Renovables 14

1.1. Fortalecimiento del Marco Normativo y Regulatorio 14

1.1.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos 15

1.2. Legislación Secundaria 16

1.2.1. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal 16

1.2.2. Ley de Planeación 16

1.2.3. Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética 16

1.2.4. Ley General de Cambio Climático 17

1.2.5. Ley de la Industria Eléctrica 17

1.2.6. Ley de Transición Energética 18

1.2.7. Ley de Energía Geotérmica 19

1.2.8. Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos 19

1.3. Políticas Públicas Energéticas en Energías Renovables 19

1.3.1. Estrategia Nacional de Cambio Climático 19

1.3.2. Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. 20

1.3.3. Programas de fomento de Energías Renovables 20

1.3.4. Fondo de Servicio Universal Eléctrico 21

1.4. Instrumentos para la promoción de Energías Renovables 22

1.4.1. Subastas Eléctricas y Emisión de Certificados de Energías Limpias 22

1.4.2. Inventario Nacional de las Energías Limpias (INEL) 23

1.4.3. Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL) 24

1.4.4. Energías Renovables en Línea (ENRELmx) 25

1.4.5. Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW 26

1.4.6. Modificación a la NOM 016 27

2. Diagnóstico Histórico y Prospectivo de las Energías Renovables 28

2.1. Contexto Internacional de las Energías Renovables 28

2.2. Diagnóstico de la Economía Mexicana 31

2.3. El Potencial de las Energías Renovables en México 33

2.4. Diagnóstico de las Energías Renovables 36

2.4.1. Energía Hidroeléctrica 37

2.4.2. Energía Eólica 41

2.4.3. Energía Geotérmica 45

2.4.4. Energía Solar Fotovoltaica 49

2.4.5. Bioenergía 53

2.5. Infraestructura de Transmisión para Energías Limpias 57

2.5.1. Proyecto Red de Transmisión para interconectar el Noroeste, Norte y Occidente del país 57

2.5.2. Proyecto Red Transmisión para interconectar el Noreste y Centro del país 57

3. Estudios y tendencias de las Energías Renovables 58

3.1. Atlas de Potencial Hidroeléctrico 58

3.2. Estudio de Integración de Energías Renovables en Baja California Sur 62

3.2.1. Antecedentes 62

3.2.2. Objetivo del estudio y Metodología 62

3.2.3. Descripción de los escenarios 64

3.2.4. Resumen de resultados y conclusiones del estudio 66

3.2.5. Consideraciones adicionales 68

3.3. Estudio de integración de energías renovables en Norteamérica para alcanzar la meta en 2025 69

3.3.1. Antecedentes 69

3.3.2. Generación de energía eléctrica con energías limpias en Norteamérica 69

3.3.3. Siguientes pasos del Estudio de Integración de Energías Renovables en Norteamérica 70

3.4. Beneficios de la Generación Limpia Distribuida 71

3.4.1. Primer análisis de beneficios de la implementación de la energía solar en México 71

3.4.2. Análisis del bienestar social de la implementación de la energía solar distribuida (GSD) en México 73

Anexo Estadístico 75

Glosario 84

Abreviaturas, acrónimos y siglas 88

Referencias 91

Índice de Cuadros

Cuadro 1. 1. Tecnologías de las Ofertas seleccionadas (resultados Preliminares) 23

Cuadro 2. 1. Principales Variables Macroeconómicas de México, 2006-2016 31

Cuadro 2. 2. Potencial de Generación eléctrica con energías renovables en México, 2016 33

Cuadro 2. 3. Potencial de Capacidad y Generación Probables para para el Escenario 1 34

Cuadro 2. 4. Potencial de Capacidad y Generación Probables para el Escenario 2 34

Cuadro 2. 5. Potencial de Capacidad y Generación Probables para el Escenario 3 35

Cuadro 2. 6. Potencial de Capacidad y Generación Probables para el Escenario 4 35

Cuadro 3. 1. Resumen del potencial de proyectos hidroeléctricos 60

Cuadro 3. 2. Plantas de generación térmica consideradas en el estudio 65

Cuadro 3. 3. Participación de las energías limpias en la generación de energía eléctrica en la región de Norteamérica, 2015 70

Cuadro A. 1. Centrales de generación Hidroeléctrica 2016 75

Cuadro A. 2. Centrales de generación Eoloeléctrica 2016 78

Cuadro A. 3. Centrales de generación Geotérmica 2016 79

Cuadro A. 4. Centrales de generación Solar 2016 80

Cuadro A. 5. Centrales de generación con Bioenergía 81

Índice de Tablas

Tabla 3. 1. Escenarios de participación de energías renovables en BCS 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Diferencia entre Energías Renovables y Energías Limpias 15

Figura 1. 2. Fundamentos Constitucionales en materia de energías renovables 15

Figura 1. 3. Principales Disposiciones de la LIE 18

Figura 1. 4. Principales Objetivos de la Ley de Transición Energética 19

Figura 1. 5. Elementos Sustantivos del PRONASE 2014-2018 21

Figura 1. 6. Principales Diferencias de la Tercera Subasta respecto a las Anteriores 23

Figura 1. 7. Tipos de potencial de generación eléctrica con energías limpias 24

Figura 1. 8. Facilidades de la PLATAFORMA ENERGÍAS RENOVABLES EN LINEA (ENRELmx) 26

Figura 2. 1. Capacidad Total de Generación Eléctrica Mundial, 2007-2016 29

Figura 2. 2. Participación de las Energías Renovables en la Capacidad Instalada Mundial, 2007 y 2016 29

Figura 2. 3. Evolución de la Generación de Energía Eléctrica Mundial con Energías Renovables, 2007-2015 30

Figura 2. 4. Participación en la Generación de Energía Eléctrica Mundial de las Energías Renovables, 2015 30

Figura 2. 5. Principales Variables Macroeconómicas de México, 2006-2016 31

Figura 2. 6. Tendencia del Consumo de energía eléctrica y el Producto Interno Bruto, 2017-2031 32

Figura 2. 7. Evolución y tendencia de la Población en México, 2006-2031 32

Figura 2. 8. Evolución y tendencia del tipo de cambio en México, 2006-2031 33

Figura 2. 9. Evolución de la Capacidad de Generación con energías renovables 2006-2016 36

Figura 2. 10. Evolución de la Generación de energía eléctrica con energías renovables 2006-2016 36

Figura 2. 11. Evolución de la capacidad y generación de energía Hidroeléctrica, 2006-2016 37

Figura 2. 12. Capacidad y Generación de centrales hidroeléctricas por región de control 2016 38

Figura 2. 13. Capacidad adicional por situación de proyecto de centrales hidroeléctricas, 2017-2031 39

Figura 2. 14. Capacidad adicional por modalidad de generación hidroeléctrica 39

Figura 2. 15. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad a instalar y generación hidroeléctrica, 2017-2031 40

Figura 2. 16. Evolución de la capacidad y generación de energía Eólica, 2006-2016 41

Figura 2. 17. Capacidad y Generación de centrales Eolo eléctricas por región de control 2016 42

Figura 2. 18. Capacidad adicional por situación de proyecto de centrales Eolo eléctricas, 2017-2031 43

Figura 2. 19. Capacidad adicional por modalidad de generación Eolo eléctrica 43

Figura 2. 20. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad a instalar y generación Eolo eléctrica 2017-2031 44

Figura 2. 21. Evolución de la capacidad y generación de energía Geotérmica, 2006-2016 45

Figura 2. 22. Capacidad y Generación de centrales Geotérmicas por región de control 2016 46

Figura 2. 23. Capacidad adicional por situación de proyecto de centrales geotérmicas, 2017-2031 . 47

Figura 2. 24. Capacidad adicional por modalidad de generación geotérmica 47

Figura 2. 25. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad a instalar y generación geotérmica 2017-2031 48

Figura 2. 26. Evolución de la capacidad y generación de energía Solar Fotovoltaica, 2006-2016 49

Figura 2. 27. Capacidad y Generación de centrales Solares por región de control 2016 50

Figura 2. 28. Capacidad adicional por situación de proyecto de centrales solares, 2017-2031 51

Figura 2. 29. Capacidad adicional por modalidad de generación solar 51

Figura 2. 30. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad a instalar y generación solar 2017-2031 52

Figura 2. 31. Evolución de la capacidad y generación de energía eléctrica con Bagazo, 2006-2016 ... 53

Figura 2. 32. Evolución de la capacidad y generación de energía eléctrica con Biogás, 2006-2016 53

Figura 2. 33. Capacidad y Generación de centrales de Bioenergía por región de control 2016 54

Figura 2. 34. Capacidad adicional por situación de proyecto de centrales de Bioenergía 2017-2031 55

Figura 2. 35. Capacidad adicional por modalidad de Bioenergía 2017-2031 55

Figura 2. 36. Evolución de las adiciones de capacidad, capacidad a instalar y generación con bioenergía 2017-2031 56

Figura 2. 37. Consumo de Combustible 2017-2031 56

Figura 3. 1. Mapas a nivel nacional de pendientes, gastos, cargas y potencias 59

Figura 3. 2. Mapa de gasto por tramo de río 59

Figura 3. 3. Ejemplo de análisis de sitios cercarnos a un sitio elegido 60

Figura 3. 4. Ejemplo de análisis geográfico de viabilidad 61

Figura 3. 5. Recurso eólico en BCS 63

Figura 3. 6. Recurso solar en BCS 63

Figura 3. 7. Red de transmisión y generación térmica y solar bajo esquemas de generación distribuida en común a todos los escenarios 65

Figura 3. 8. Escenarios con participaciones de energía renovable en BCS: 9.5% y 32.5% 66

Figura 3. 9. Impactos de niveles crecientes de participación de energías renovables en la generación de energía eléctrica en BCS 67

Figura 3. 10. Esquema simplificado del análisis de beneficios de la implementación de la energía solar en México 71

Figura 3. 11. Resumen de beneficios esperados por la adopción de la energía solar bajo esquemas de generación distribuida 72

PRESENTACIÓN

En años recientes, México emprendió un profundo proceso de reestructuración con el apoyo de diversas Reformas Estructurales para lograr un mayor nivel de desarrollo económico y social. Particularmente, gracias a la Reforma Energética se ha accedido a mayores recursos que antes no estaban al alcance, garantizando con ello una mayor seguridad energética.

Uno de los logros de la Reforma Energética relacionado específicamente al desarrollo y promoción de las energías renovables en la matriz energética, es la creación de un esquema legal y regulatorio que estable, que permite la transición a un modelo energético confiable, sustentable y limpio. Además, gracias a que el país cuenta con un gran potencial en recursos renovables, se ha logrado la integración de mayores niveles de inversión en el desarrollo de nuevos proyectos y tecnologías eficientes. De ahí la importancia de seguir desarrollando instrumentos financieros y técnicos como son los Certificados de Energías Limpias, el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL) o el Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL), que juegan un papel primordial en la promoción de las energías renovables.

Además, con la apertura del sector a nuevos participantes, el mercado eléctrico se ha reforzado con una mayor participación de las energías renovables mediante nuevos proyectos, debido a que tanto a nivel internacional como nacional, se ha presentado una importante reducción en los costos de generación que complicaban la integración de las energías renovables a la planeación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

México sigue avanzando con las Reformas y mantiene su compromiso de ser más amigable con el medio ambiente, para ello debe de llevar a cabo una planeación energética estratégica que además de lograr las metas de generación limpia establecidas, robustezca el sistema y modernice el sector eléctrico Mexicano..

INTRODUCCIÓN

Hoy en día las energías renovables juegan un papel muy importante en la generación de energía eléctrica y en el sector transporte. El incremento constante del consumo de energía en todo el mundo, junto a las metas de mitigación del impacto del cambio climático, han forzado a que se tome en cuenta una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética, para cubrir dicha demanda con fuentes amigables con el medio ambiente. Sin embargo, aún existen retos para la integración de las energías renovables, como la accesibilidad a la red de transmisión y el desarrollo de fuentes de almacenamiento, que permitan administrar la energía cuando se requiera y evitar así las carencias del suministro, principalmente en los picos de consumo.

La Prospectiva de Energías Renovables 2017-2031, es un instrumento de política energética que contiene tanto información histórica como prospectiva de todas aquellas energías renovables consideradas en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), así como estudios y tendencias de las energías renovables en México, que permitirán mostrar un amplio panorama que fomente un mayor uso de ellas en la toma de decisiones estratégicas de inversión, investigación o política pública.

El documento de Prospectiva de Energías Renovables 2017-2031, se elaboró con información del *Reporte de Avances de Energías Limpias en la Matriz Energética* y del *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017-2031* (PRODESEN) y contiene tres capítulos.

El primer capítulo hace referencia a las principales 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 solar y eólica. 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 tiene como principal objetivo mostrar un panorama histórico de la evolución de las energías renovables en México y como se visualiza en el futuro su participación dentro de la matriz energética. El documento sirve como una herramienta de análisis para distintos usuarios como son: Investigadores, Académicos, Empresas Productivas del Estado e Inversionistas, que requieren información general.

Marco Normativo y Regulatorio de las Energías Renovables

En el primer capítulo se describen las principales leyes que fomentan el uso de energías renovables, así como las políticas públicas energéticas y los instrumentos que de ellas derivan, con la finalidad de identificar los objetivos, líneas de acción y metas que a nivel nacional se han fijado con el propósito de determinar cuáles de ellas tienen influencia o representan áreas de oportunidad para que los participantes impulsen proyectos de energía renovable.

Diagnóstico Histórico y Prospectivo de las Energías Renovables

En 2016 la capacidad total de generación eléctrica con energías renovables a nivel mundial fue de 2'011,332 MW, lo que representó un incremento de 8.8% con respecto al 2015. La energía hidroeléctrica sigue siendo predominante al concentrar el 60% del total de capacidad instalada mundial.

En México al cierre de 2016, las energías renovables incrementaron en 10.17% la capacidad instalada respecto al año anterior. Por su parte, el 15.4% de la energía eléctrica en México fue generado con energías renovables, donde las tecnologías que mostraron mayor crecimiento fueron: la solar y eólica.

Se espera que entre 2017 y 2031, las energías renovables crezcan a una tasa media anual de 7.4%, para ubicarse al final del período en 135, 027 GWh, según lo reportado por el PRODESEN 2017-2031. Cabe destacar que la energía solar fotovoltaica tendrá una mayor participación dentro de la matriz energética y crecerá aproximadamente 3,543%, pasando de 368 GWh[1] en 2017 a 13,396 GWh en 2031.

Estudios y tendencias de las Energías Renovables

En el tercer capítulo se muestran una serie de estudios y tendencias que tienen como finalidad la promoción de generación de energía eléctrica con fuentes renovables. La importancia de dar a conocer estos estudios y tendencias en el documento de Prospectiva de Energías Renovables, es para darles difusión y que sirvan como referente en futuras investigaciones y desarrollo de inversiones, así como para la toma de decisiones estratégicas que promuevan un mejor uso de los recursos con los que cuenta el país.

El primer estudio es el Atlas de Potencial Hidroeléctrico que es una nueva herramienta de apoyo e innovación tecnológica, que permitirá identificar sitios con alto potencial hidroeléctrico en el país y muestra un progreso considerable en el marco de las herramientas que aportan y permiten consultas en un entorno de información compartida y actualizada.

El segundo y tercer estudios, aún en proceso de elaboración, muestran los avances alcanzados y buscan dar solución a dos retos que tiene hoy la planeación del Sector Eléctrico Nacional: la integración de más Energías Renovables en Baja California Sur y la Integración de Energías Renovables en la región de Norteamérica para alcanzar la meta regional en 2025, del 50% de generación eléctrica con energías limpias. Finalmente, el último estudio es un análisis de los Benéficos de la Generación Limpia Distribuida en México.

[1] Fuente: PRODESEN 2017-2031. No considera Generación Distribuida.

MARCO NORMATIVO Y REGULATORIO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Con la modificación del marco constitucional y el fortalecimiento a las leyes secundarias, la política pública en materia de energías renovables se ha beneficiado sustancialmente. Antes de la Reforma Energética, existía una promoción y participación limitadas de las energías renovables, ya que éstas sólo se podían considerar en la generación de energía eléctrica a través de inversión privada bajo modalidades con intervención restringida. Con la Reforma Energética, se da certidumbre jurídica a la participación privada en la generación y el país se abre al nuevo mercado eléctrico. En materia de desarrollo de biocombustibles, la nueva legislación permite establecer mecanismos de promoción con el objetivo de contribuir a la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero en el sector autotransporte.

En el presente capítulo se describen las principales leyes que fomentan el uso de energías renovables, así como las políticas públicas energéticas y los instrumentos que de ellas derivan, con la finalidad identificar los objetivos, líneas de acción y metas que a nivel nacional se han fijado con el propósito de determinar cuáles de ellas tienen influencia o representan áreas de oportunidad para que los participantes impulsen proyectos de energía renovable.

1.1. Fortalecimiento del Marco Normativo y Regulatorio

Uno de los objetivos de la Reforma Energética es reducir el consumo y dependencia de los combustibles fósiles, promoviendo un mayor uso de las energías limpias, de tal modo que el identificar las diferencias entre *Energías Limpias* y *Energías Renovables*, permite contextualizar el alcance en la elaboración de este documento para la promoción de éstas.

La Ley de la Industria Eléctrica (LIE)[2] define a las energías limpias como:

Artículo 3, Fracción XXII, Ley de la Industria Eléctrica:

- "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."

Por su parte, la Ley de Transición Energética (LTE)[3] define a las energías renovables como:

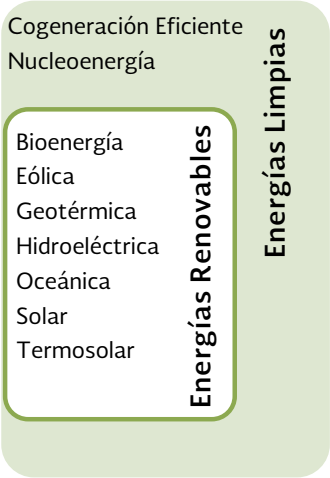
Artículo 3, Fracción XVI, Ley de Transición Energética:

- *"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."*

Como se observa en la Figura 1.1, las energías renovables están contenidas dentro de las energías limpias

[2] Para mayor detalle consulte http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014
[3] Para mayor detalle consulte http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015

FIGURA 1. 1. DIFERENCIA ENTRE ENERGÍAS RENOVABLES Y ENERGÍAS LIMPIAS



Fuente: Elaborado por SENER.

1.1.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM[4]) es el ordenamiento de mayor jerarquía dentro de la Legislación Mexicana, establece el marco de actuación de las autoridades, a través de principios, derechos y obligaciones que rigen el resto del marco legal nacional.

Dentro de la CPEUM, se encuentran una serie de artículos que están relacionados con la implementación de proyectos de energías renovables, como se muestra en la Figura 1.2.

FIGURA 1. 2. FUNDAMENTOS CONSTITUCIONALES EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos			
Art. 4. ... *Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.* ...	***Art. 25.*** *Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución.*	***Art. 26.*** *A. El Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la Nación.* ...	***Art. 27.*** *...Corresponde exclusivamente a la Nación la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; en estas actividades no se otorgarán concesiones, sin perjuicio de que el Estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que establezcan las leyes, mismas que determinarán la forma en que los particulares podrán participar en las demás actividades de la industria eléctrica....*
	...		

Fuente: Elaborado por SENER.

[4] http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_240217.pdf

Para garantizar una libre competencia en el mercado energético el Artículo 28 de la CPEUM, establece que:

Artículo 28, Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos:

- *"… No constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos y radiotelegrafía; minerales radiactivos y generación de energía nuclear; la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, y la exploración y extracción del petróleo y de los demás hidrocarburos, en los términos de los párrafos sexto y séptimo del artículo 27 de esta Constitución, respectivamente; así como las actividades que expresamente señalen las leyes que expida el Congreso de la Unión."*

1.2. Legislación Secundaria

Para dar cumplimiento a dicho mandato, de la Constitución emana una serie de Leyes que permiten la apertura del suministro eléctrico a la participación privada con el objetivo de una mayor promoción de energías renovables en la planeación del sector energético.

1.2.1. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, en su artículo 33, señala que corresponde a la Secretaria 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[5], 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.

1.2.2. 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. Asimismo, y de acuerdo al artículo 4° de la Ley corresponde al Ejecutivo Federal conducir la planeación del desarrollo nacional.

1.2.3. Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética

La Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética sienta 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.

[5] Para mayor detalle consulte http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/153_190517.pdf

1.2.4. 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 hacía una economía baja en carbono. Respecto a emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GEI), en el Artículo Segundo Transitorio de la LGCC se asume una meta aspiracional de reducirlas al 2020 un 30% 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.

1.2.5. Ley de la Industria Eléctrica

La Ley de la Industria Eléctrica (LIE) surge del fortalecimiento al proceso de Planeación del SEN y fue decretada el 11 de agosto de 2014, como una Ley reglamentaria de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En ella se establece un régimen de libre competencia para la generación y comercialización de energía eléctrica, además de incluir la participación de particulares en el servicio público de transmisión y distribución, bajo nuevos modelos contractuales considerando que al igual que la planeación y el control del SEN, se mantienen como actividades exclusivas del Estado.

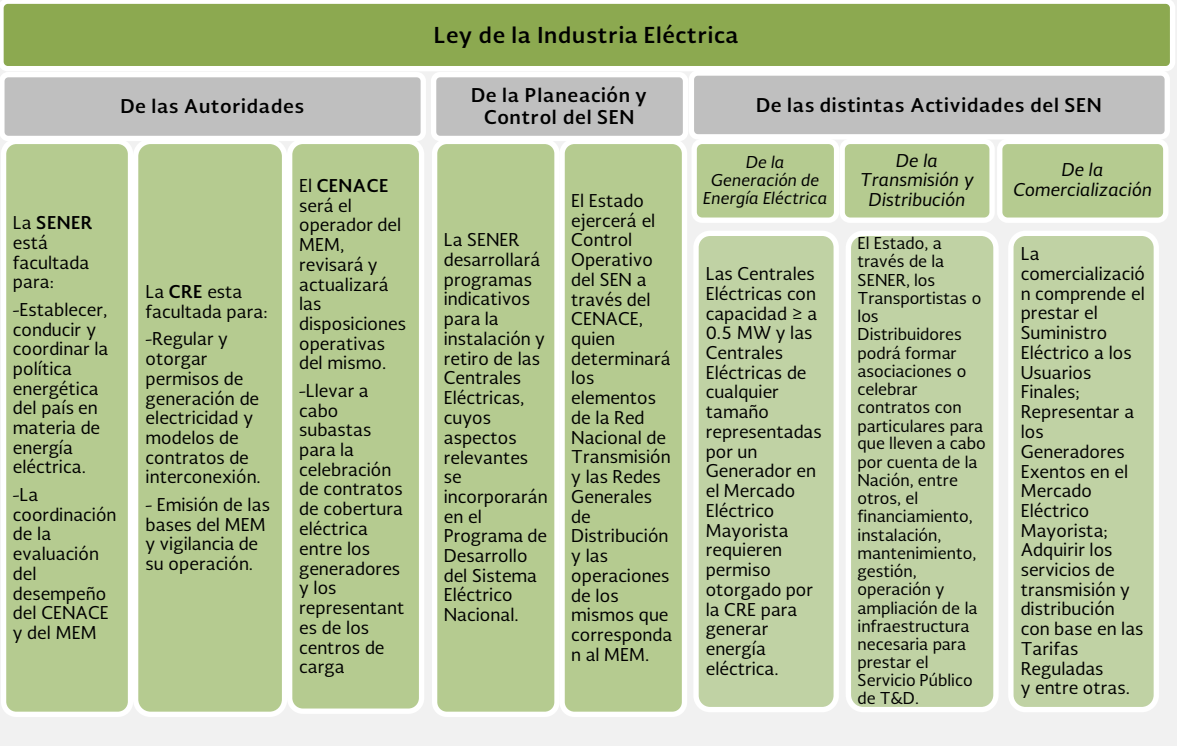
Artículo 11, Ley de la Industria Eléctrica:

- *"La Secretaria de Energía está facultada para:... III. Dirigir el proceso de planeación y la elaboración del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional."*

Un objetivo de la LIE es promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal, de energías limpias y la reducción de emisiones contaminantes.

Dentro de las principales disposiciones de la LIE se encuentran las facultades de las autoridades, de la Planeación y Control del SEN y de las distintas actividades relacionadas al sector eléctrico, como se muestra en la Figura 1.3.

FIGURA 1. 3. PRINCIPALES DISPOSICIONES DE LA LIE



Fuente: Elaborado por la SENER.

1.2.6. Ley de Transición Energética

La LTE se publicó el 24 de diciembre de 2015 en el Diario Oficial de la Federación y tiene como objetivo regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos (véase Figura 1.4).

Como mecanismos de apoyo, la LTE establece como instrumentos de planeación de la política nacional de energía en materia de energías limpias y eficiencia energética a la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, el Programa Especial de la Transición Energética y el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de Energía (PRONASE), mismos que deberán ser revisados con una periodicidad anual, con la participación de la SENER, CRE, Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

La LTE encomienda a la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, establecer 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.

FIGURA 1. 4. PRINCIPALES OBJETIVOS DE LA LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Ley de Transición Energética	Prevé el incremento gradual de la participación de las Energías Limpias en la Industria Eléctrica con el objetivo de cumplir las metas establecidas en materia de generación de energías limpias y de reducción de emisiones
	Facilitar el cumplimiento de las metas de Energías Limpias y Eficiencia Energética establecidos en esta Ley de una manera económicamente viable
	Establecer mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes
	Reducir, bajo condiciones de viabilidad económica, la generación de emisiones contaminantes en la generación de energía eléctrica
	Promover el aprovechamiento sustentable de la energía en el consumo final y los procesos de transformación de la energía

Fuente: Elaborado por SENER.

1.2.7. Ley de Energía Geotérmica

La Ley de Energía Geotérmica (LEG) se publicó junto con la LIE, y tiene como propósito regular el reconocimiento, la exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional. De esta manera, se establecen las reglas para el registro de reconocimiento, la emisión de permisos de exploración, así como concesiones de explotación.

1.2.8. Ley de Promoción y Desarrollo de 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.

1.3. Políticas Públicas Energéticas en Energías Renovables

Para llevar a cabo la transición energética 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.

El marco institucional para la promoción de la generación de energía mediante recursos renovables se estableció en una diversidad de programas y estrategias que se describirán a continuación.

1.3.1. Estrategia Nacional de Cambio Climático

Es un instrumento de planeación que define la visión de largo plazo y que además rige y orienta la política nacional con una ruta a seguir que 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.

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

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.

En la Estrategia se establecen las metas de generación de energías limpias del 35% al 2024; de 37.7% al 2030 y del 50% de la generación eléctrica total al 2050, así como las de eficiencia energética, con una meta de reducción de la intensidad energética por consumo final para el periodo del 2016 al 2030 del 1.9%; y del 3.7% para el periodo de 2031 a 2050, con un promedio de 2.9%.

La Estrategia deberá contener un componente de largo plazo para un periodo de 30 años que defina los escenarios propuestos para cumplir las Metas de Energías Limpias y la Meta de Eficiencia Energética. También incluirá un componente de planeación de mediano plazo para un período de 15 años que deberá actualizarse cada tres años, una vez que haya sido realizado lo dispuesto en el artículo anterior respecto al componente de largo plazo cuando así corresponda.

1.3.3. Programas de fomento de Energías Renovables

La producción de energía con recursos renovables presenta grandes ventajas ambientales, económicas y sociales, como son la baja o nula emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la reducción de tarifas, la generación de empleos directos o la posibilidad de llevar energía eléctrica a comunidades remotas.

Los Programas tienen como objetivo fortalecer la política nacional para reforzar y continuar impulsando acciones concretas para el logro de una mayor diversificación de la matriz energética. A continuación se mencionan tres de los más importantes relacionados al fomento de las energías renovables.

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.

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

El Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (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. 5. ELEMENTOS SUSTANTIVOS DEL PRONASE 2014-2018

Fuente: Elaborado por SENER.

Programa Especial para la Transición Energética

El Programa Especial (PETE), emana de la LTE, que estipula que corresponde a la SENER su elaboración 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 un periodo de la Administración Pública Federal, asegurando su viabilidad económica.

El Programa se instrumenta cada año y debe prestar especial atención 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.

En el Programa se establecen cuatro objetivos estratégicos para: i) aumentar la capacidad instalada y la generación de energías limpias; ii) expandir y modernizar la infraestructura e incrementar la generación distribuida y almacenamiento; iii) impulsar el desarrollo tecnológico, de talento y cadenas de valor; y iv) democratizar al acceso a las energías limpias

1.3.4. Fondo de Servicio Universal Eléctrico

El Fondo de Servicio Universal Eléctrico tiene como objetivo ampliar la electrificación de comunidades rurales y zonas urbanas marginadas que aún no tienen acceso a este servicio básico y están alejadas de las redes existentes. En su primera etapa atenderá las necesidades de 180 mil mexicanos, proporcionando iluminación, comunicación, conservación de alimentos y demás actividades productivas que requieren de electricidad.

En mayo de 2017 se publicó la primera convocatoria[6] para Sistemas Aislados bajo el segundo esquema[7], es decir, celdas solares fotovoltaicas para vivienda, impactando 898 localidades en 11 estados de la República y destinando 438 millones de pesos para instalar más de 10 mil sistemas en beneficio de 45 mil mexicanos que carecen el servicio de energía eléctrica.

Los Sistemas Aislados representan una gran opción en términos económicos para suministrar energía eléctrica a pequeña escala y al mismo tiempo contribuyen al cuidado del medio ambiente, ya que evitan la producción de emisiones contaminantes. Asimismo, se capacitará a las comunidades sobre cómo mantenerlos, darles servicio y se garantice que las baterías sigan funcionando a lo largo de la vida útil de los paneles.

1.4. Instrumentos para la promoción de Energías Renovables

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.

En alcance del 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 Limpias (INEL)[8] y el Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL).

1.4.1. Subastas Eléctricas y Emisión de Certificados de Energías Limpias

Las Subastas Eléctricas de Largo Plazo para la adquisición de nueva capacidad de generación limpia son un mecanismo para expandir la infraestructura energética y satisfacer el abasto de electricidad limpia que requiere México. Uno de los objetivos de las Subastas es que los grandes consumidores de energía podrán obtener electricidad de una oferta cada vez más amplia de generadores y sin intermediarios, incentivando así, la competencia y la posibilidad de adquirir mejores precios.

De la primera y segunda Subasta Eléctrica, CENACE reportó[9] que se logró comprometer una inversión de 6 mil 600 millones de dólares: 34 empresas construirán 52 nuevas centrales que duplicarán la infraestructura solar y eólica, añadiendo cerca de 5 mil MW de nueva capacidad de generación limpia, en 15 estados de la República Mexicana, que se beneficiarán de los resultados de ambas Subastas.

De la tercera Subasta Eléctrica, cuyo fallo se dio a conocer en Noviembre de 2017 por el CENACE y la SENER, se obtuvo uno de los precios más económicos del mundo con 20.57 dólares por MWh de solar fotovoltaica y se espera una inversión de cerca de 2 mil 400 millones de dólares para la construcción de 15 nuevas centrales de energías limpias en ocho estados, adicionando al SEN 2,562 MW de capacidad de generación eléctrica.

[6] Para mayor detalle http://fsueconvocatoriaaislados.fide.org.mx/
[7] CFE contempla dos esquemas de electrificación, el primero es convencional, que se concentra en expandir las redes de distribución a fin de llevar electricidad a comunidades que no cuentan con ella. El segundo esquema, que promueve el Fondo de Servicio Universal eléctrico, es la electrificación no convencional a través de paneles solares.
[8] http://inere.energia.gob.mx
[9] Para mayor detalle consulte http://www.cenace.gob.mx/paginas/publicas/MercadoOperacion/SubastasLP.aspx

CUADRO 1. 1. TECNOLOGÍAS DE LAS OFERTAS SELECCIONADAS (RESULTADOS PRELIMINARES)

Cantidades Asignadas por Tecnología				Participación por Tecnología		
Tecnología	CEL	Energía (MWh)	Potencia (MW-año)	CEL	Energía	Potencia
Solar Fotovoltaica	3,471,160	3,040,029	10	58.3%	55.3%	1.6%
Eólica	2,481,415	2,452,547	83	41.6%	44.6%	13.9%
Turbogás	0	0	500			84.4%
Total	**5,952,575**	**5,492,575**	**593**	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

Fuente: Elaborado por SENER.

Al igual que en las dos primeras Subastas, CFE comprará Energía, Potencia y Certificados de Energías Limpias (CEL) a los generadores ganadores. Sin embargo, por primera vez, la Subasta estuvo abierta a compradores diferentes que, como Entidades Responsables de Carga, presentaron ofertas de compra en los tres productos eléctricos.

FIGURA 1. 6. PRINCIPALES DIFERENCIAS DE LA TERCERA SUBASTA RESPECTO A LAS ANTERIORES

Tercera Subasta	Creación de la Cámara de Compensación, basada en lo establecido en el Transitorio Vigésimo Segundo de la Ley de Transición Energética.
	Participación de compradores distintos al Suministrador de Servicios Básicos.
	Valores para diferencias esperadas por zona.
	Los límites de interconexión serán límites "no firmes", que se basarán en el criterio mínimo de interconexión. La convocatoria incluye el calendario de la subasta.

Fuente: Elaborado por SENER.

Por su parte los CEL son un instrumento de política energética implementado para integrar energías limpias en la generación eléctrica al menor costo, incentivar el desarrollo de nuevos proyectos de inversión en generación eléctrica limpia y contribuir en la realización de contratos de largo plazo entre Generadores y Participantes Obligados para adquirir CEL en los mejores términos posibles.

Con el objeto de propiciar la transición energética de México hacia las metas de energías limpias fijadas en la LTE, se incrementó de manera gradual el porcentaje mínimo de energía limpia que deben consumir los grandes consumidores, de tal manera que se fijó en 5% para 2018, 5.8 % para el 2019 y recientemente se establecieron los requerimientos de 7.4 % para el 2020, 10.9% para el 2021 y 13.9 % para el 2022.

1.4.2. Inventario Nacional de las Energías Limpias (INEL)

El INEL[10] antes Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE) es una herramienta tecnológica con información sobre el potencial que tienen las energías limpias, como lo son la energía del sol, del océano, el viento, el calor de la tierra, la biomasa y la cogeneración eficiente; que pueden ser aprovechadas para generar electricidad.

[10] Para mayor detalle consulte https://dgel.energia.gob.mx/inere/

El INEL, a través de mapas interactivos, permite identificar el potencial existente para la generación de energía, las zonas en las que es factible desarrollar nuevos proyectos, e incluso los proyectos que ya se encuentran en desarrollo o que cuentan con algún permiso. También se puede consultar y descargar información de las centrales generadoras con tecnologías limpias que se encuentran en funcionamiento.

FIGURA 1. 7. TIPOS DE POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS LIMPIAS

Potencial Probado	Es aquel Potencial que cuenta con estudios técnicos y económicos que comprueban la factibilidad de su aprovechamiento, se encuentra en las energías eólica y solar.
Potencial Probable	Es 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.
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.

Fuente: Elaborado por SENER.

El INEL cuenta con Atlas interactivos del potencial de los recursos renovables de energía para facilitar la identificación de zonas factibles para el desarrollo de proyectos. En un futuro próximo se integrará al INEL el Atlas de Captura, Almacenamiento y Aprovechamiento de Carbono (CCUS por sus siglas en inglés).

También cuenta con mapas de apoyo que identifican zonas con algún tipo de restricción o condicionante para desarrollar proyectos como aspectos de carácter ambiental, social, climatológicos e incluso zonas arqueológicas y sitios históricos.

1.4.3. Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL)

La LTE, establece la publicación anual de un Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias[11] que deberá contener las zonas del país que tengan un alto potencial de Energías Limpias.

El Atlas de Zonas con Alto Potencia de Energías Limpias o AZEL es una plataforma que complementa al Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE). El AZEL muestra las zonas con mayor potencial para generar energía eléctrica a partir de fuentes limpias. En su versión actual contempla las tecnologías solar, eólica, geotérmica y de biomasa.

El AZEL permite identificar zonas en las que existe una mayor factibilidad para el desarrollo de proyectos renovables, considerando factores técnicos como: disponibilidad del recurso, latitud, altitud, y tipo de tecnología a usar; además, permite identificar posibles restricciones territoriales relacionadas con el uso de suelo, como la cercanía a las zonas urbanas o comunidades, existencia de monumentos históricos o arqueológicos, áreas naturales protegidas, zonas consideradas de riesgo por incidencia de inundaciones, temblores, erupciones volcánicas, etc. Los objetivos del AZEL 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.

En el desarrollo de la herramienta participaron las siguientes instituciones: SENER, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), CFE, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT),

[11] Para mayor detalle consulte https://dgel.energia.gob.mx/AZEL/

Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), National Renewable Energy Laboratory (NREL, por sus siglas en Inglés) y VESTAS.

El AZEL también considera la competitividad de las fuentes de energía renovable respecto de las otras fuentes de suministro, en función del grado de madurez tecnológico y de su impacto en los costos de inversión y operación; y considera la disponibilidad de interconexión a la red. El cálculo del potencial para cada fuente considera las siguientes tecnologías: fotovoltaica fija y de seguimiento en un eje, aerogenerador axial, ciclo binario y ciclo unitario para geotermia, motogenerador para biogás y ciclo rankine para combustión directa de residuos.

Una de las características del AZEL es que cuenta con cuatro Escenarios, los cuales permiten identificar la factibilidad de distintos tipos de proyectos. Cada escenario considera una distancia distinta a la Red Nacional de Transmisión, y por ende se asocia a distintos rangos de capacidad instalada de proyectos, debido a que la distancia a la red es un determinante en los costos de construcción y recuperación de un proyecto. Un aspecto importante del AZEL es que permite analizar zonas calificadas de alto potencial, 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 y nuevas regiones de desarrollo. El AZEL considera también capas informativas y restrictivas para la instalación de centrales de generación e incluso calcula que en los terrenos para energía eólica y solar, sólo entre el 25% y el 3.5% de la superficie del área respectivamente, puede ser aprovechable.

Las actualizaciones siguientes, consideradas para el AZEL son: evaluar otras fuentes de energía limpia como la hidroeléctrica, oleaje, cogeneración eficiente y Captura, Uso y Almacenamiento de CO_2 (CCUS, por sus siglas en inglés), así como integrar otras variables como capacidad de la red (inclusión de nivel de congestión por nodo), futuras redes de transmisión/distribución; costos de generación eléctrica por tecnología por nodo/región; y aspectos relevantes de carácter político, social y/o medioambiental. Se prevé mejorar al AZEL mediante la identificación de zonas calificadas y/o prioritarias para los gobiernos federal y local; zonas de interés con desarrolladores que permitan fortalecer los planes de expansión y modernización de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y agreguen valor a la definición de las subastas de energías limpias.

1.4.4. Energías Renovables en Línea (ENRELmx)

El ENRELmx es un esfuerzo de la SENER para integrar todos los trámites para la construcción de un proyecto de energías renovables al portal GOB.MX, a través de una plataforma digital que permitirá gestionar los servicios gubernamentales a toda hora (24X7), y desde cualquier lugar y dispositivo. Ello permitirá incrementar la transparencia y reducir discrecionalidad y tiempos en la obtención de los permisos, alineándose a los objetivos del Programa de un Gobierno Moderno y Cercano y a la Estrategia Digital Nacional.

ENRELmx tiene el propósito apoyar el desarrollo de proyectos de energías renovables a través de la simplificación de los requisitos y los trámites solicitados a los desarrolladores. Es un mecanismo que se diseña y construye para facilitar a los inversionistas sus procesos de gestión para instalar nuevos proyectos de generación de electricidad.

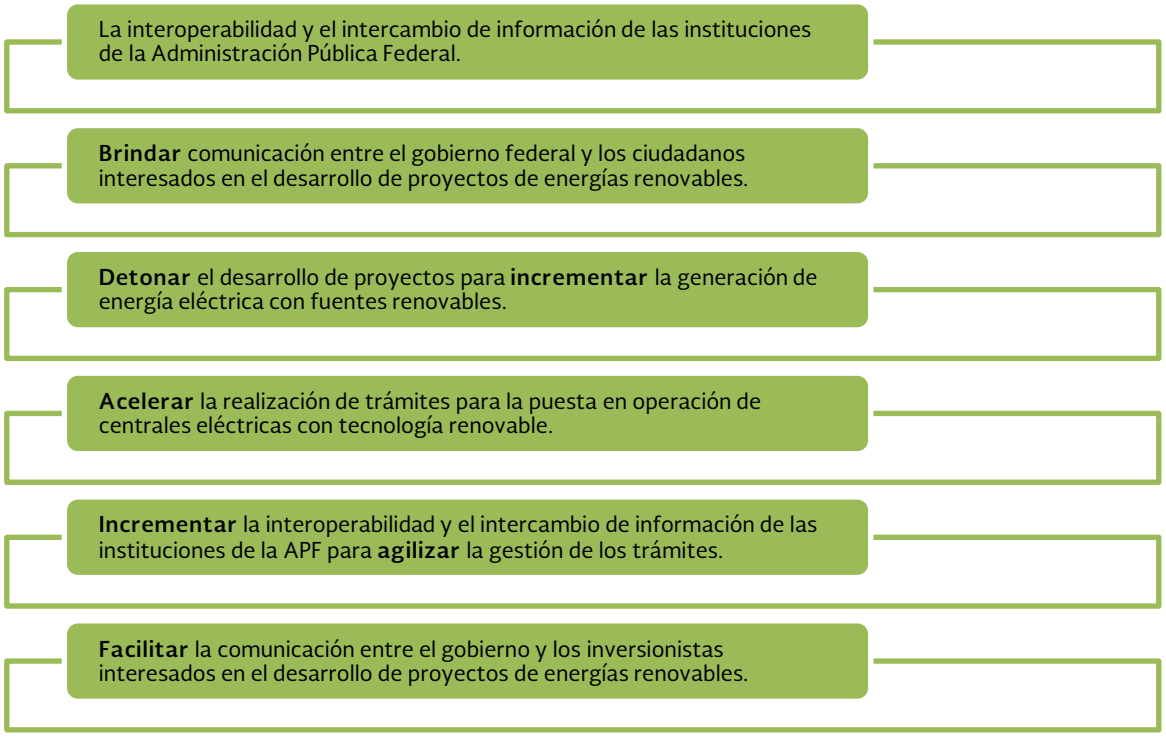
En esta plataforma participan los trámites relacionados a energías limpias de la Secretaría de Energía, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Comisión Reguladora de Energía (CRE), el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). La plataforma está en fase de pruebas y se espera tenerla en fase productiva en el primer trimestre de 2018.

El ENRELmx contiene una guía de 38 trámites para las tecnologías eólica, solar fotovoltaica, hidroeléctrica, biogás, y geotérmica (tanto para exploración como para explotación). La herramienta contiene una ruta

crítica que permite identificar todos los trámites necesarios y además muestra aquellos que pueden realizarse de manera simultánea, y así disminuir el tiempo promedio de ejecución de todos los trámites del proyecto.

ENRELmx permite a los inversionistas ingresar sus trámites en línea y dar seguimiento al avance de cada uno de sus proyectos y sus respectivos trámites. El avance se representa en un diagrama de flujo en el cual el desarrollador puede consultar el estatus de avance que reporta la dependencia responsable.

FIGURA 1. 8. FACILIDADES DE LA PLATAFORMA ENERGÍAS RENOVABLES EN LINEA (ENRELMX)



Fuente: Elaborado por SENER.

1.4.5. Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW

Uno de los objetivos de la Transición Energética es fomentar la generación distribuida limpia para que los usuarios puedan producir su propia electricidad, con un destacado uso de sistemas fotovoltaicos, debido al vasto potencial de radiación solar que llega al país y a los bajos costos internacionales de esta tecnología.

En este sentido, el Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW, emitido por la SENER, establece los nuevos lineamientos técnicos y administrativos que deberán seguir los pequeños generadores para interconectar sus plantas eléctricas a la red de distribución.

Este instrumento otorga acceso a los usuarios y les permite tener claridad sobre el proceso de interconexión, además de que se simplifican los trámites y se acortan los tiempos para dar respuesta de manera expedita a las solicitudes en un plazo máximo de 18 días.

1.4.6. Modificación a la NOM 016

En 2016, con la publicación de la NOM-016-CRE-2016[12], se ha autorizado en la zona denominada Resto del País el uso del etanol anhidro en una proporción del 5.8%, con lo que se pretende contribuir a la diversificación de la matriz energética. En el 2017 se busca su modificación para permitir el uso de etanol al 10% en la zona Resto del País y se realizan los estudios de campo para evaluar la posibilidad de ampliar su uso en las zonas metropolitanas.

Adicionalmente y en relación estrecha con esta norma se cuenta con un diagnóstico para el biodiesel, que realizó la SENER en cooperación con el Banco Interamericano de Desarrollo[13]. Este estudio, incluye el desarrollo de los escenarios de política para su implementación. Asimismo se desarrolla una regulación para establecer la calidad de los biocombustibles líquidos puros que servirán para regular el biocombustible que se utilizaría en la referida norma oficial mexicana.

[12] Para mayor detalle consulte http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016
[13] Para mayor detalle consulte la Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030

DIAGNÓSTICO HISTÓRICO Y PROSPECTIVO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Los nuevos modelos de mercados energéticos en el mundo, demandan un mayor uso de las energías renovables y México hoy está a la vanguardia. Ante el objetivo de lograr un sector eléctrico totalmente diversificado, limpio y económicamente viable, se ha logrado implementar un mercado competitivo que impulsa el uso de las energías renovables como se observó en los resultados obtenidos en las tres Subastas de largo plazo.

Uno de los retos a los cuales se enfrentan las energías renovables, más allá de la frecuencia de generación de la energía eléctrica ante la inestabilidad de los recursos, es la dispersión del potencial de las zonas productivas, donde se tiene un alto consumo de energía. De ahí la importancia de la integración de los centros de generación con energías renovables a las redes de transmisión y contar con centrales de respaldo, que garanticen la estabilidad del sistema.

En el presente capítulo se muestra la evolución que han tenido las energías renovables en la última década en México y cuál es el horizonte prospectivo a 15 años que le espera a cada una de ellas. Además, se presentan los estudios de potenciales de las energías renovables que se han realizado a lo largo del país y que se encuentran disponibles en el INEL y en el AZEL

2.1. Contexto Internacional de las Energías Renovables

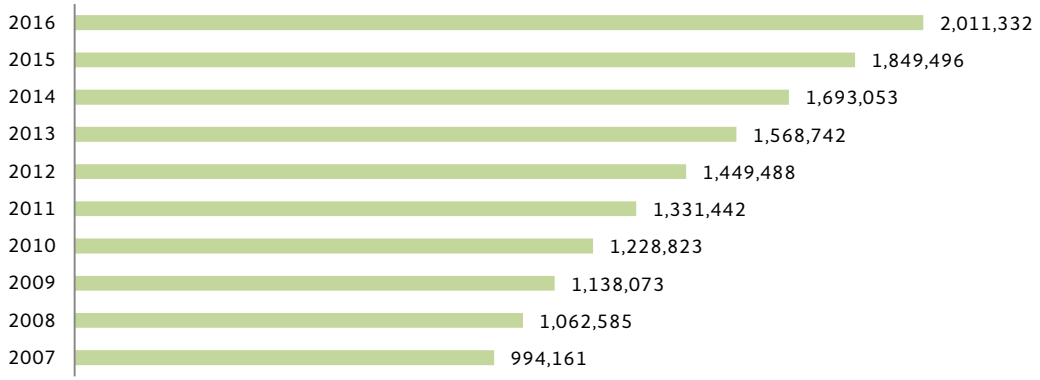
Año tras año, las energías renovables tienen un desarrollo relevante a nivel mundial y 2016 no fue la excepción, ya que la demanda de la población hace que escale nuevos retos, posicionándose en un lugar importante dentro de la matriz de generación eléctrica.

Factores como un incremento en la capacidad instalada de generación eléctrica con energías renovables, reducción del uso de carbón y las mejoras en eficiencia energética en todos los sectores, a nivel mundial, han contribuido de manera trascendente a las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI por sus siglas en ingles).

Más aún, gracias a las políticas aplicadas en las economías en desarrollo, se ha dado acceso a financiamientos que permitan la incorporación de un sistema energético totalmente modernizado, eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Derivado de ello, se han reducido de forma importarte los costos de las energías renovables, permitiendo una mayor inclusión de ellas en la generación de energía eléctrica.

Según lo reportado por el documento *Renewable Energy Statistics 2017*, publicado por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés), en 2016 la capacidad total de generación eléctrica con energías renovables fue de 2,011,332 MW, lo que representó un incremento de 8.8% con respecto al 2015 (véase Figura 2.1).

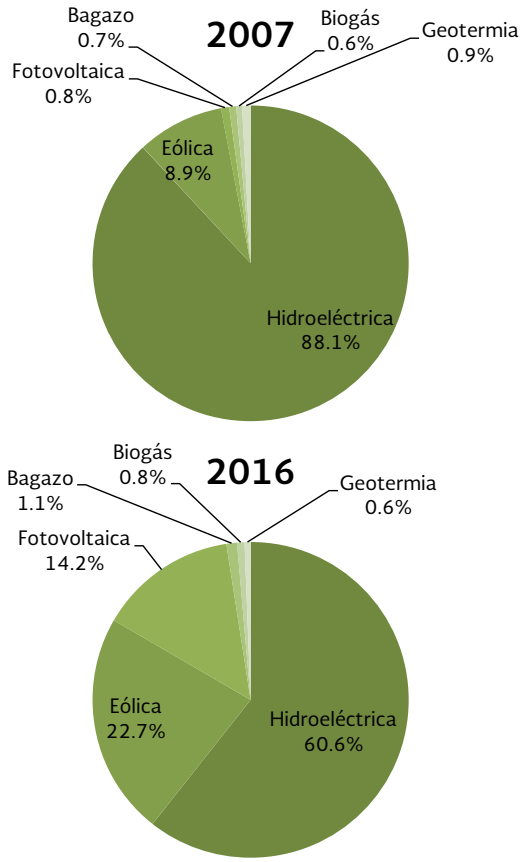
FIGURA 2. 1. CAPACIDAD TOTAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MUNDIAL, 2007-2016
(MW)



Fuente: Elaborado por SENER, con información de *Renewable Energy Statistics 2017*.

Entre 2007 y 2016, se ha dado una importante reconfiguración de la matriz energética, pues si bien la energía hidroeléctrica sigue siendo la predominante, otras energías como la eólica y la fotovoltaica, han ganado terreno como se muestra en la siguiente figura.

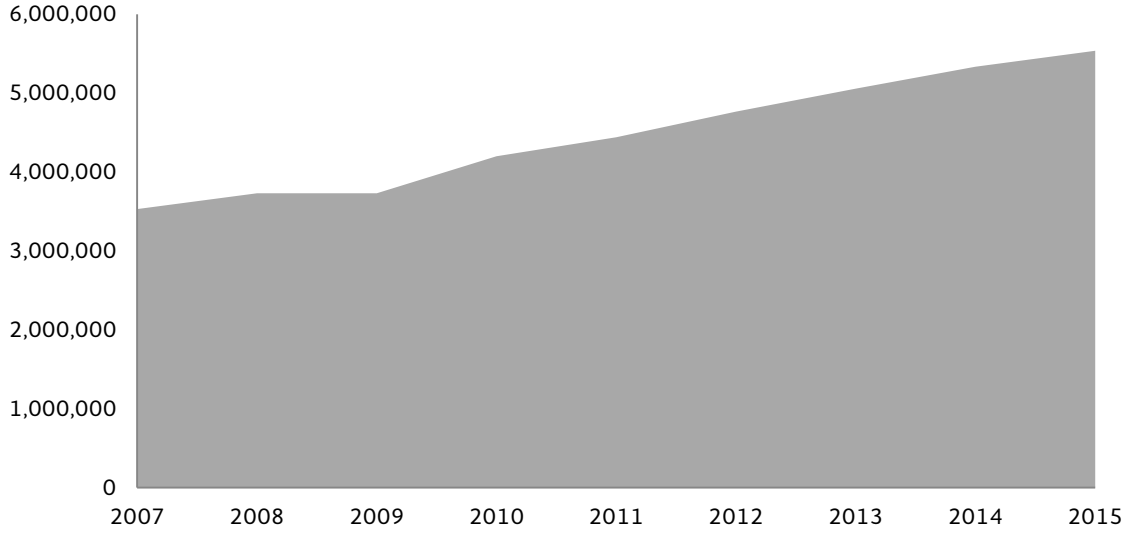
FIGURA 2. 2. PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA CAPACIDAD INSTALADA MUNDIAL, 2007 Y 2016
(Porcentaje)



Fuente: Elaborado por SENER, con información de *Renewable Energy Statistics 2017*.

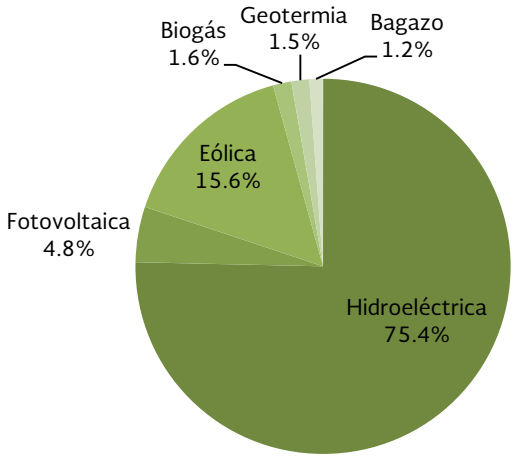
Por su parte, la generación de energía eléctrica en los últimos años ha crecido a una tasa media anual de 5.8%, siendo la energía hidroeléctrica la de mayor participación y que en el 2015 fue de 75.4% del total de generación eléctrica renovable (véase Figura 2.3 y 2.4).

FIGURA 2. 3. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MUNDIAL CON ENERGÍAS RENOVABLES, 2007-2015
(GWh)



Fuente: Elaborado por SENER, con información de *Renewable Energy Statistics 2017*.

FIGURA 2. 4. PARTICIPACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MUNDIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES, 2015
(Porcentaje)



Fuente: Elaborado por SENER, con información de *Renewable Energy Statistics 2017*.

2.2. Diagnóstico de la Economía Mexicana

Analizar las principales variables de la Economía Mexicana históricamente sirve como referencia para los comportamientos futuros y cómo éstos influirán en la planeación del sector energético. Más aun, ante un panorama de transición hacia un uso más intensivo de energías renovables en el sector eléctrico, la identificación de un entorno económico positivo, permite una mayor participación del sector privado y con ello, fomentar las inversiones en energías renovables.

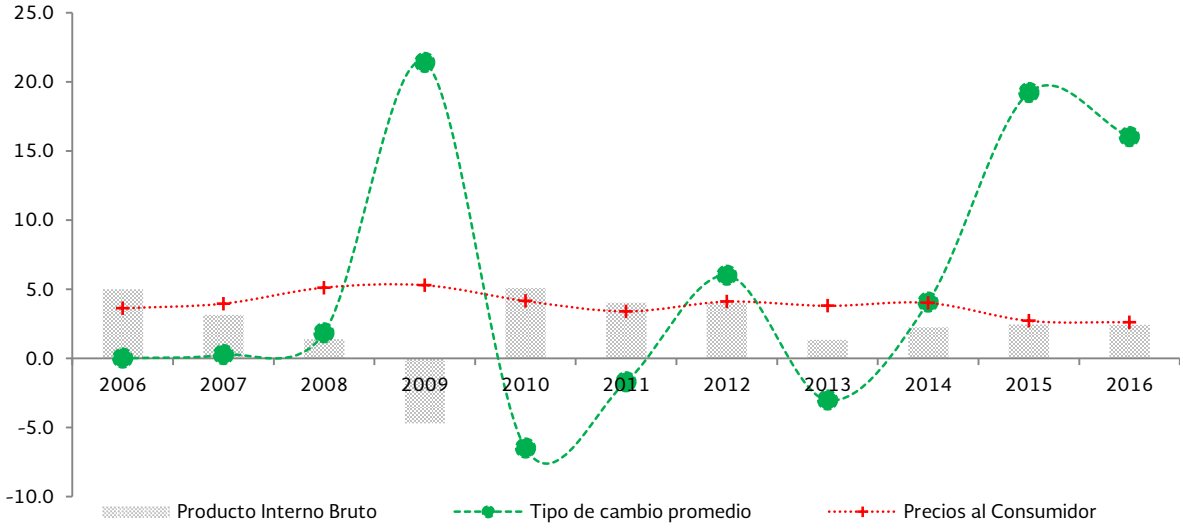
Al cierre de 2016 se observó una recuperación de la economía global y la influencia de la aceleración de la actividad económica de Estados Unidos ha permitido una reactivación del comercio exterior, en particular de la manufactura mexicana. Entre 2006 y 2016 el Producto Interno Bruto (PIB), creció en promedio anual 2.4%, mientras que el ritmo de crecimiento poblacional se mantuvo en 1.2%, como se observa en el Cuadro 2.1 y la Figura 2.5.

CUADRO 2. 1. PRINCIPALES VARIABLES MACROECONÓMICAS DE MÉXICO, 2006-2016
(Diferentes unidades)

Variable Macroeconómica	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Población (Mill Personas)	108.4	109.8	111.3	112.9	114.3	115.7	117.1	118.4	119.7	121.0	122.3
Producto Interno Bruto (M. Mill Pesos 2008)	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	14,455.2
Tipo de cambio promedio (Pesos por dólar)	10.9	10.9	11.1	13.5	12.6	12.4	13.2	12.8	13.3	15.8	18.4
Precios al Consumidor (Porcentaje de variación promedio anual)	3.6	4.0	5.1	5.3	4.2	3.4	4.1	3.8	4.0	2.7	2.6

Fuente: Elaborado por SENER con información de INEGI.

FIGURA 2. 5. PRINCIPALES VARIABLES MACROECONÓMICAS DE MÉXICO, 2006-2016
(Variación anual)



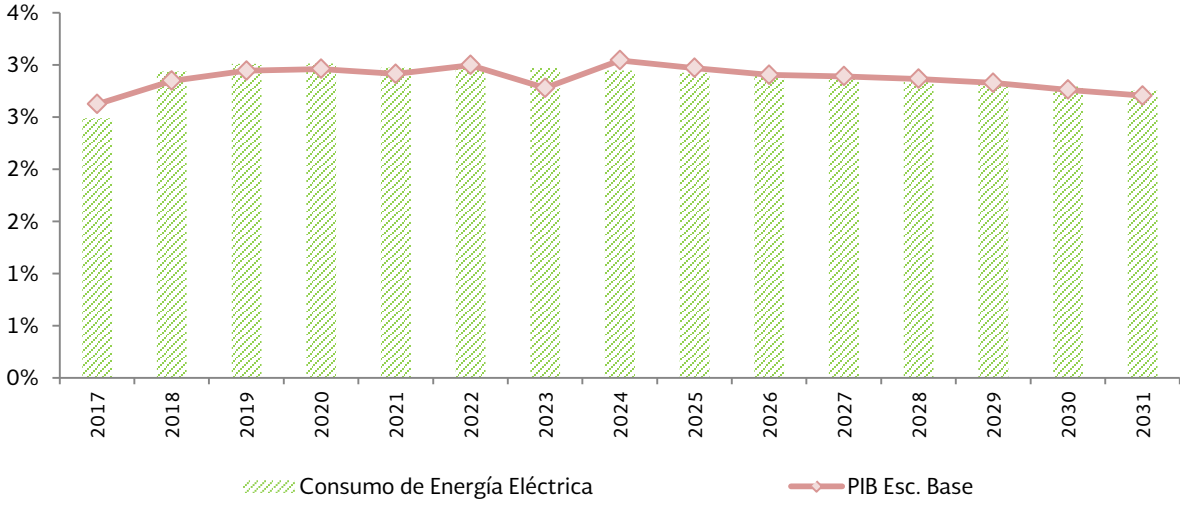
Fuente: Elaborado por SENER con información de INEGI.

Gracias a un desempeño positivo del mercado interno, resultado de la implementación, entre otras, de las reformas estructurales que han fomentado la eficiencia económica, la productividad y la competencia en los

principales sectores de la economía, se espera que en los próximos años el panorama de la economía sea más favorable, principalmente para las inversiones en infraestructura energética.

Para el marco macroeconómico del ejercicio de planeación 2017-2031, se estima un crecimiento anual de 2.9%, al igual que el crecimiento esperado del consumo de energía eléctrica (véase Figura 2.6).

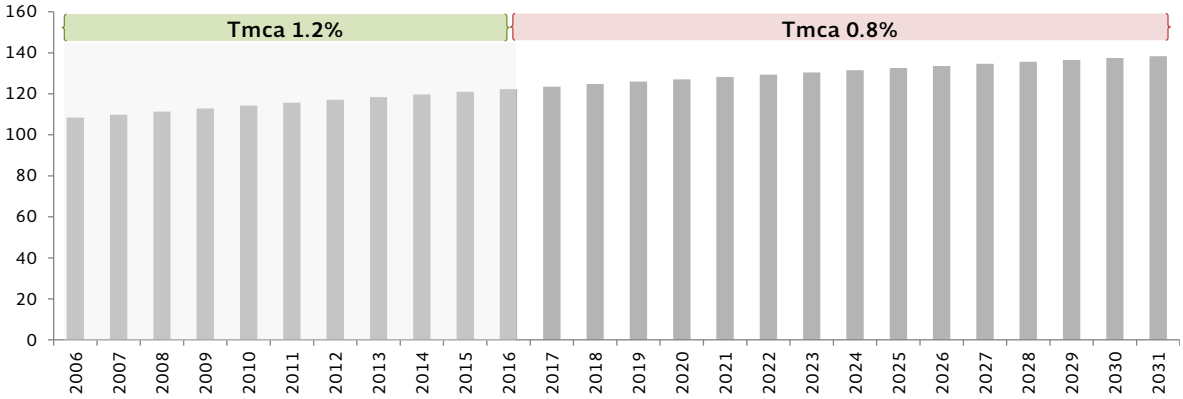
FIGURA 2. 6. TENDENCIA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL PRODUCTO INTERNO BRUTO, 2017-2031
(Variación anual)



Fuente: Elaborado por SENER con información de Oxford Economics.

El crecimiento poblacional es un indicador importante para medir las necesidades futuras en el país en materia de energía. A lo largo de diez años, este crecimiento fue de 1.2% y se espera disminuya en los próximos 15 años en 0.8% anualmente (véase Figura 2.7).

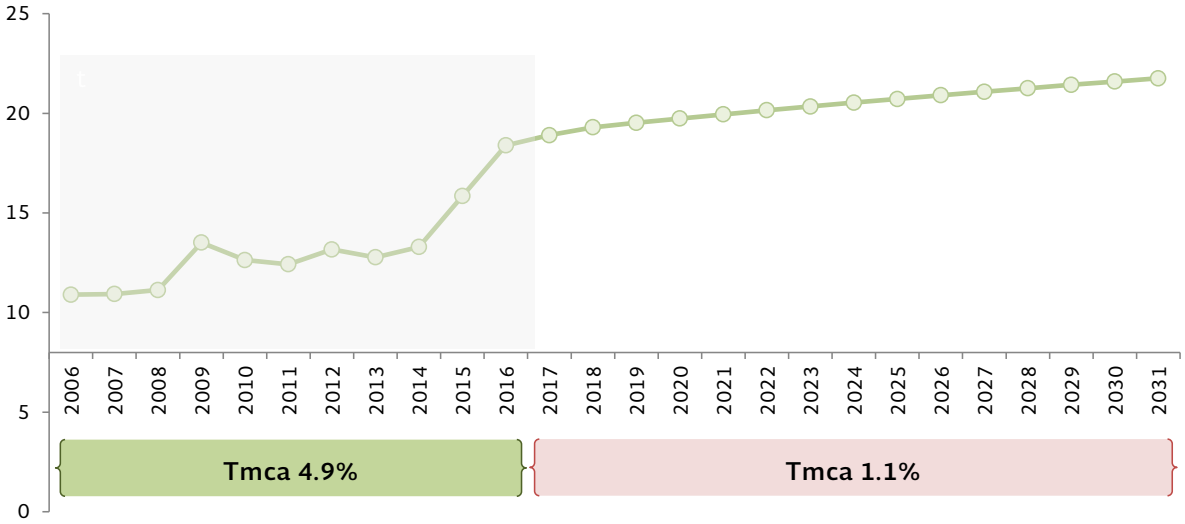
FIGURA 2. 7. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DE LA POBLACIÓN EN MÉXICO, 2006-2031
(Millones de Personas)



Tmca: Tasa media de crecimiento anual.
Fuente: Elaborado por SENER con información de CONAPO y Oxford Economics

Entre 2006 y 2016 el tipo de cambio del dólar respecto al peso mexicano, creció en promedio anual en 4.9%. Se prevé una ligera apreciación del dólar y un incremento de 1.1% anual en el período de planeación considerado (véase Figura 2.8).

FIGURA 2. 8. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DEL TIPO DE CAMBIO EN MÉXICO, 2006-2031
(Dólar-Peso)



Fuente: Fuente: Elaborado por SENER con información de INEGI y Oxford Economics.

2.3. El Potencial de las Energías Renovables en México

Con apoyo de la herramienta del INEL y el AZEL, se pueden identificar zonas con alto potencial de energías renovables que ayuden a la toma de decisiones de los inversionistas y sean un insumo relevante para la planeación de las redes de transmisión y distribución del país.

CUADRO 2. 2. POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO, 2016
(GWh/a)

Recursos	Geotérmica	Hidráulica	Eólica	Solar	Biomasa	Oceánica
Probado	2,610	4,920	20,104	25,052	3,326	-
Probable	45,207	23,028	-	-	680	1,057
Posible	52,013	44,180	87,600	6,500,000	11,485	-

Fuente: Elaborado por SENER con información del INEL.

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%.

Tomando en consideración las restricciones ambientales, sociales y tecnológicas el AZEL define 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 2,593,889 MW y un potencial de generación probable de 5,695,580 GWh/a (véase Cuadro 2.3).

CUADRO 2. 3. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES PARA PARA EL ESCENARIO 1
(MW, GWh/a)

Energía	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
Solar fijo	1,171, 881	2,121,803
Solar Seguimiento	837, 537	2, 077, 997
Eólica	583,200	1,486,713
Geotérmica	174	1,373
Biomasa	1,097	7,694
Total	2,593,889	5,695,580

Fuente: Elaborado por SENER con información del AZEL.

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, 381,945 MW y un potencial de generación de 3, 024,235 GWh/a (véase Cuadro 2.4).

CUADRO 2. 4. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES PARA EL ESCENARIO 2
(MW, GWh)

Energía	Capacidad Instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
Solar fijo	639, 420	1, 156, 286
Solar Seguimiento	450, 646	1, 115, 840
Eólica	290,249	740,332
Geotérmica	399	3,146
Biomasa	1,231	8,631
Total	1,381,945	3,024,235

Fuente: Elaborado por SENER con información del AZEL.

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 397, 020 MW y un potencial de generación de 912, 913 GWh/a (véase Cuadro 2.5).

CUADRO 2. 5. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES PARA EL ESCENARIO 3
(MW, GWh)

Energía	Capacidad instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
Solar fijo	139, 000	252, 545
Solar Seguimiento	97, 669	242, 647
Eólica	158,302	402,847
Geotérmica	571	4,509
Biomasa	1,478	10,365
Total	397, 020	912, 913

Fuente: Elaborado por SENER con información del AZEL.

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 1, 093,979 MW y un potencial de generación de 2, 424,762 GWh/a (véase Cuadro 2.6).

CUADRO 2. 6. POTENCIAL DE CAPACIDAD Y GENERACIÓN PROBABLES PARA EL ESCENARIO 4
(MW, GWh)

Energía	Capacidad instalable (MW)	Potencial de Generación (GWh/a)
Solar fijo	462, 279	837, 560
Solar Seguimiento	334, 131	836, 030
Eólica	297,444	750,186
Geotérmica	125	986
Biomasa	No aplica	No aplica
Total	1,093,979	2,424,762

Fuente: Elaborado por SENER con información del AZEL.

2.4. Diagnóstico de las Energías Renovables

Para el periodo histórico 2006-2016, la capacidad instalada de generación de energía eléctrica creció a un promedio anual de 4.3%. En este periodo las energías solar y eólica presentaron el mayor crecimiento con33.6% y 110.3% respectivamente (véase Figura 2.9).

FIGURA 2. 9. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES 2006-2016
(MW)

Solar incluye generación distribuida.
Fuente: Elaborado por la SENER.

El crecimiento promedio anual de la generación eléctrica para el conjunto de las energías renovables en la década de 2006-2016 fue de 2.8%, destacando la generación Eolo eléctrica con un crecimiento de 72.5%. Por porcentaje de participación, la generación hidroeléctrica concentró el 76.1% del total, posicionándose como la principal energía renovable en el país como se muestra en la Figura 2.10.

FIGURA 2. 10. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES 2006-2016
(MW)

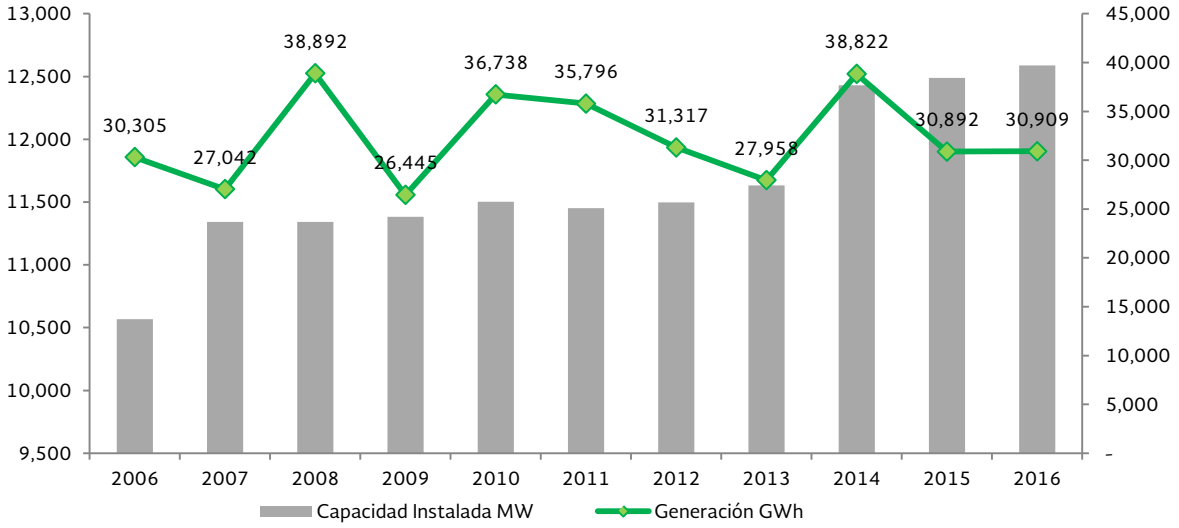
Solar incluye generación distribuida.
Fuente: Elaborado por la SENER.

2.4.1. Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica entre 2006 y 2016 creció su capacidad de generación a un ritmo de 1.8%. Para la generación de energía eléctrica este crecimiento anual fue de 0.2 % (véase Figura 2.11).

En los últimos dos años, la generación hidroeléctrica ha disminuido por los efectos climáticos, ya que los grandes embalses al escasear el recurso, priorizan su uso para el consumo agrícola y humano. No obstante sigue siendo una de las mejores alternativas para la generación limpia base y dentro del total de generación, concentró una participación del 17.1%[14].

FIGURA 2. 11. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA, 2006-2016
(MW, GWh)



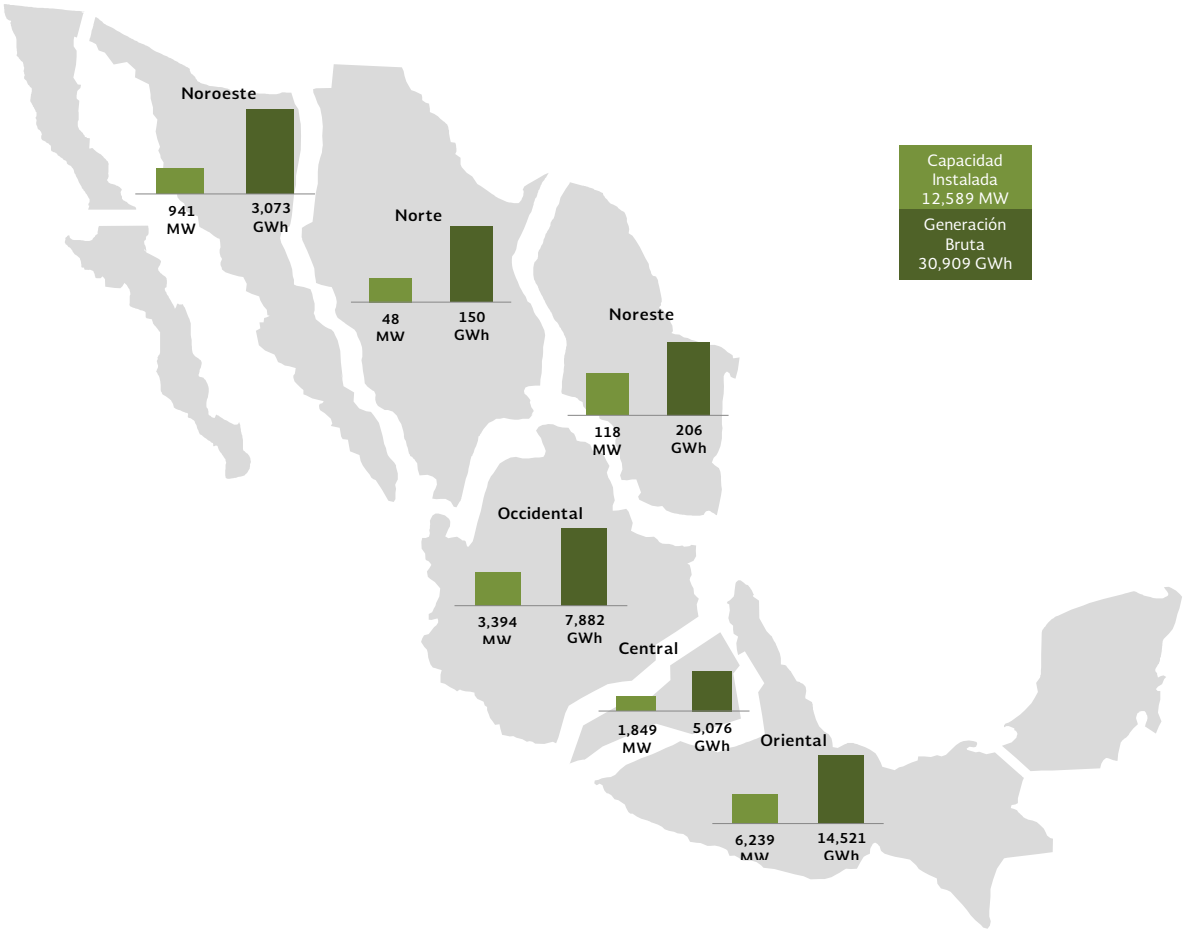
Fuente: Elaborado por la SENER.

Al cierre de 2016 se registraron 85 plantas hidroeléctricas con una capacidad instalada total de generación de 12,588.99 MW y una generación de energía de 30,909.3 GWh.

La región con mayor número de plantas instaladas fue la Oriental con 31, donde se ubican 3 de las principales centrales: Chicoasén (2,400 MW), Malpaso (1,080 MW) y Angostura (900 MW), todas ubicadas en el estado de Chiapas con una generación total de 9,021 GWh (véase Figura 2.12 y Cuadro A.1 en Anexo estadístico).

[14] Para mayor detalle consulte la Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031.

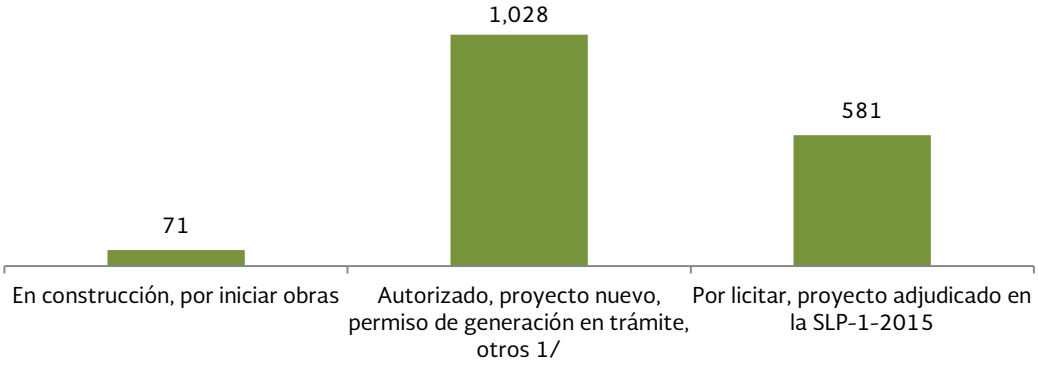
FIGURA 2. 12. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS POR REGIÓN DE CONTROL 2016
(MW, GWh)



Fuente: Elaborado por SENER con información de PRODESEN 2017-2031.

Para el período 2017-2031 se prevé adicionar 1,681.2 MW de nueva capacidad a instalar de centrales hidroeléctricas, de las cuales poco más del 61.2% se clasifican como proyectos autorizados, nuevos o con permiso de generación en trámite (véase Figura 2.13).

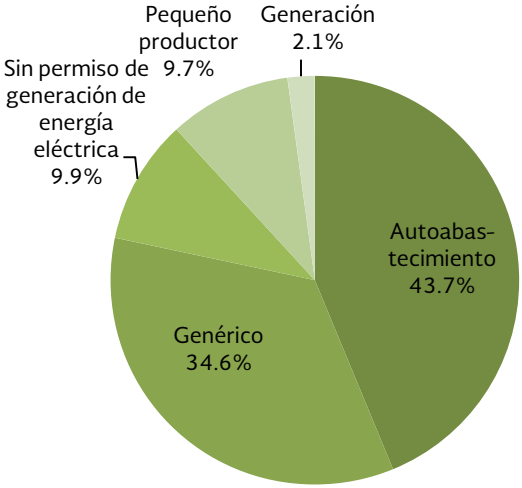
FIGURA 2. 13. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DE PROYECTO DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS, 2017-2031
(MW)



1/ Incluye aquellos proyectos de generación con estatus: Condicionado, Cancelado en PEF 2016, con avance en el proceso de interconexión ante CENACE y suspendido.2/ Los Totales pueden no coincidir por redondeo.
Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Por modalidad de generador, de las 34 nuevas centrales que se prevé se instalaran para el ejercicio de planeación el autoabastecimiento concentrará el 43.7% de la nueva capacidad, equivalente a 735.4 MW, como se muestra en la Figura 2.14.

FIGURA 2. 14. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA
(Porcentaje)



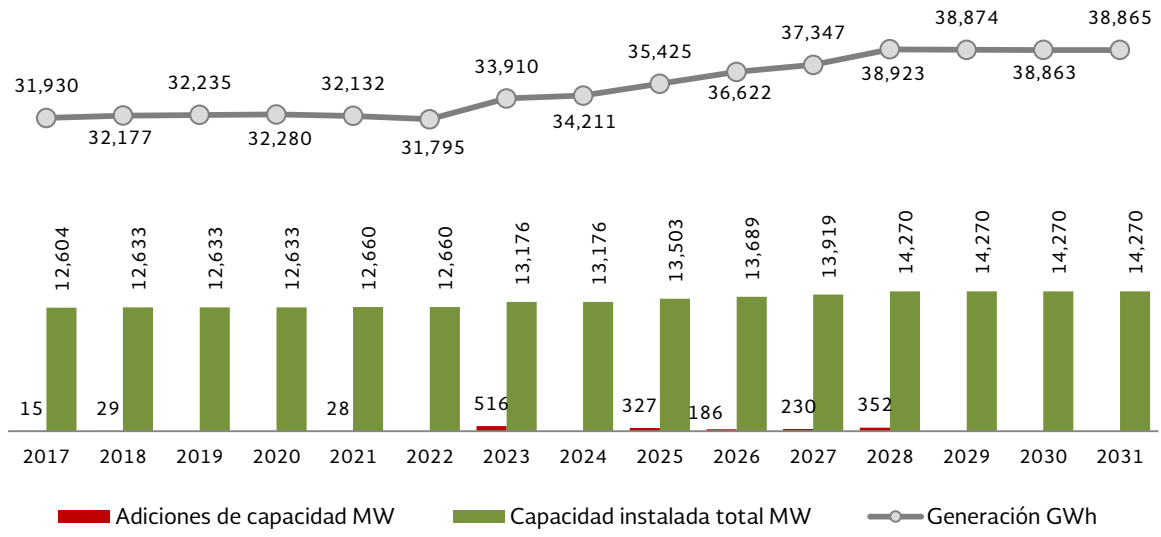
Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Así, considerando la capacidad existente y por adicionar, entre 2017 y 2031 la capacidad instalada de generación hidroeléctrica pasará de 12,604 MW a 14,270 MW.

Por su parte la generación hidroeléctrica se incrementará 6,935 GWh a lo largo de los 15 años proyectados, y tendrá una participación de 8.5% dentro del total de la matriz de generación al final del período.

FIGURA 2. 15. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD A INSTALAR Y GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA, 2017-2031

(MW, GWh)



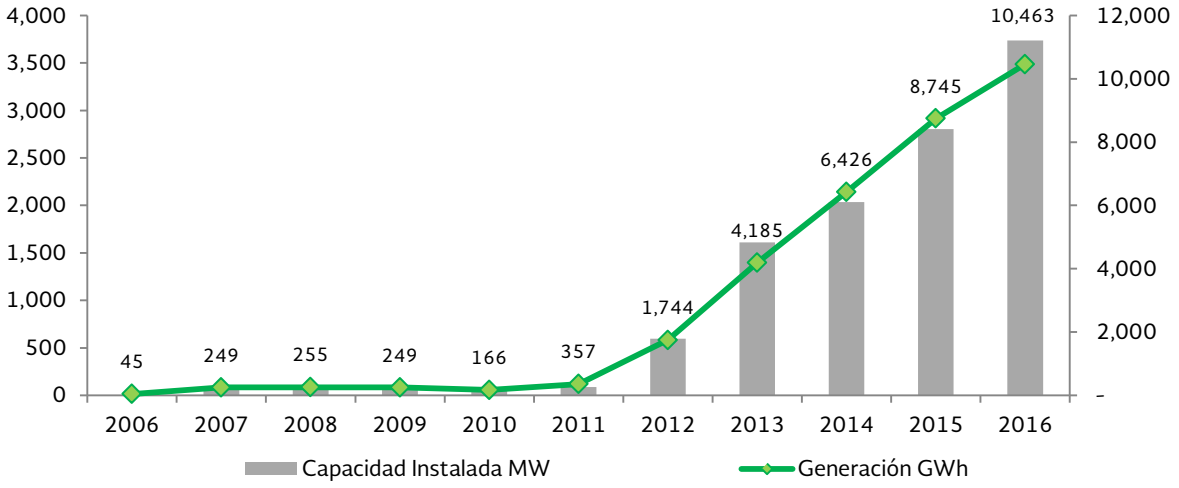
Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

2.4.2. Energía Eólica

La Energía Eólica ha repuntado en los últimos años gracias al alto potencial con el que cuenta el país, además del creciente interés que el sector privado ha mostrado, y de las reformas efectuadas, acompañadas de políticas públicas orientadas a reducir las barreras existentes, lo que se traduce en mayores inversiones. Resultado de esto, la capacidad de generación con energía eólica se incrementó a una tasa media anual de 72.5%, para ubicarse en 2016 en 10,462.6 MW.

De la misma manera, la generación de energía eléctrica se incrementó en los últimos diez años en 110.3% anual, como se observa en la Figura 2.16.

FIGURA 2. 16. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA, 2006-2016
(MW, GWh)



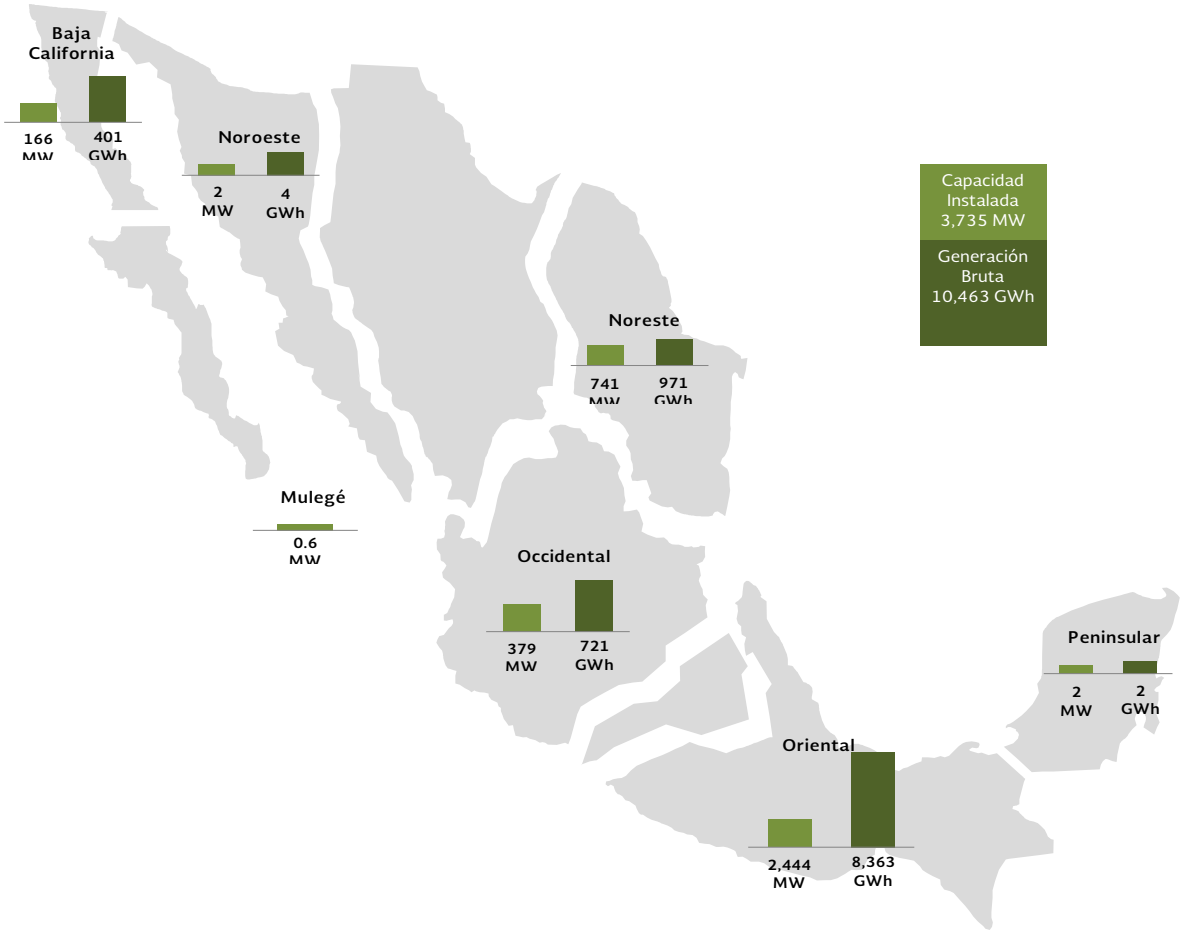
Fuente: Elaborado por SENER.

De las 41 plantas eólicas registradas en 2016 ubicadas en 13 estados de la República Mexicana, la mayor parte se encuentran ubicadas en la región Oriental (23 en Oaxaca), y generaron en conjunto, 8,363 GWh (véase Figura 2.17).

Las principales modalidades en las que se encuentran estas plantas son autoabastecimiento, pequeña producción, PIE y las correspondientes a CFE[15].

[15] Para mayor detalle véase cuadro A.2 en Anexo estadístico.

FIGURA 2. 17. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE CENTRALES EOLO ELÉCTRICAS POR REGIÓN DE CONTROL 2016
(MW, GWh)



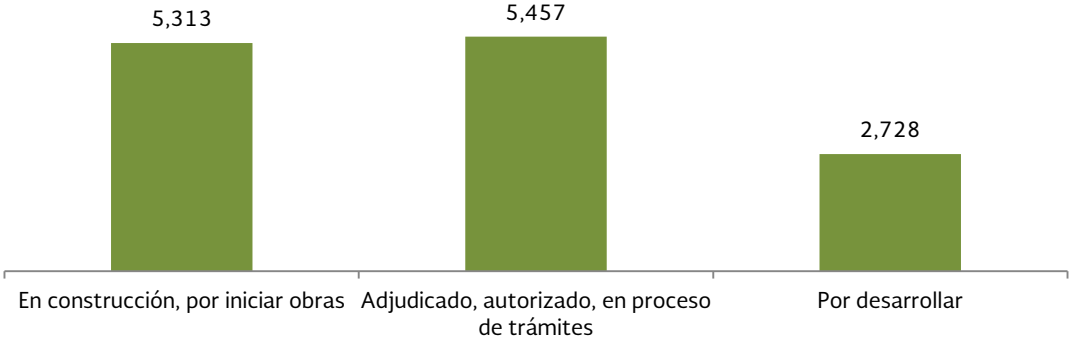
Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Las dos Subastas de Largo Plazo llevadas a cabo fueron un instrumento eficaz para aumentar la penetración de energías limpias. Prueba de ello, fue la participación que logró la energía eólica, pues generará el 25.7% de la energía contratada pues se adicionarán como resultado de estas 2,718 MW entre 2017-2019[16].Así, para el período prospectivo se estima una adición de capacidad de 13,498 MW[17] de energía eólica, de la cual el 39.4% (5,313 MW), son proyectos que están en construcción o por iniciar obras (véase Figura 2.18).

Como resultado de los proyectos ganadores de la tercera subasta, se adicionarán 2,040,029 MWh/año adicionales. Estos proyectos entrarán en operación entre julio de 2019 y junio de 2020.

[16] http://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/MercadoOperacion/SubastasLP.aspx
[17] El PRODESEN 2017-2031 no considera las adiciones de generación y capacidades resultantes de la tercera subasta.

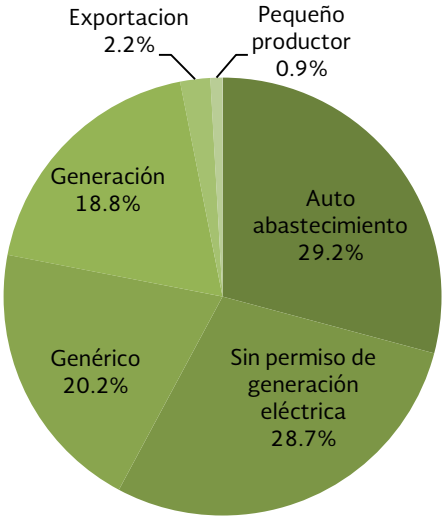
FIGURA 2. 18. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DE PROYECTO DE CENTRALES EOLO ELÉCTRICAS, 2017-2031
(MW)



Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Respecto a las modalidades de generación, el autoabastecimiento concentra la mayor participación de nueva capacidad a instalar, como se muestra en la siguiente Figura.

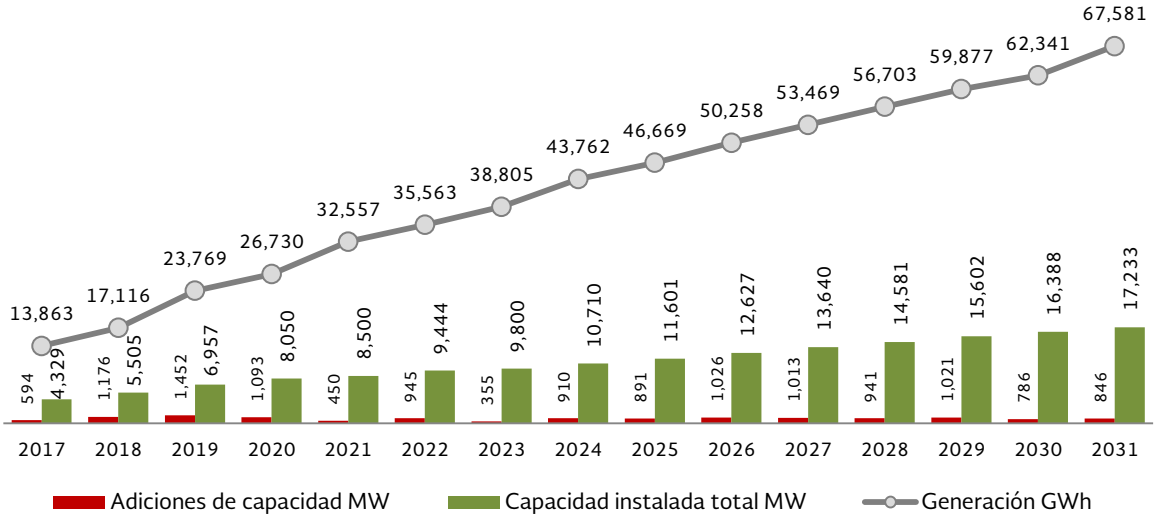
FIGURA 2. 19. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD DE GENERACIÓN EOLO ELÉCTRICA
(Porcentaje)



Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Por su alta competitividad derivada en gran medida por la reducción de sus costos y el alto potencial con el que se cuenta en el país, se prevé que la energía eólica incremente su generación de energía eléctrica en 387.5% entre 2017 y 2031 (véase Figura 2.20).

FIGURA 2. 20. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD A INSTALAR Y GENERACIÓN EOLO ELÉCTRICA 2017-2031
(MW, GWh)



Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

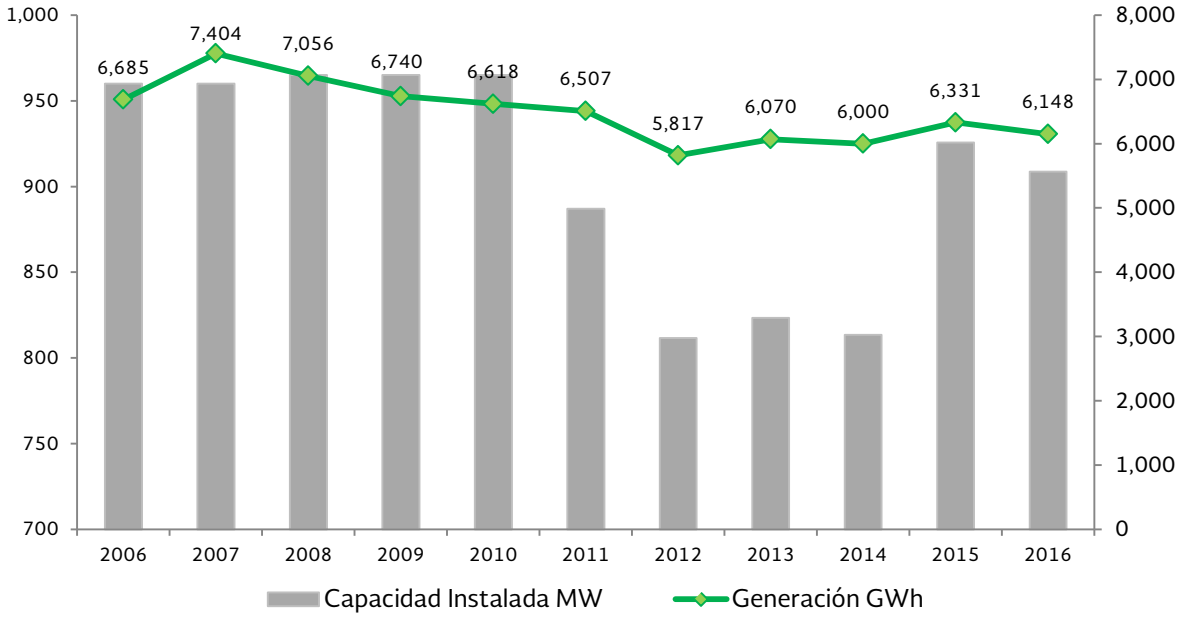
2.4.3. Energía Geotérmica

Al cierre de 2016 la SENER otorgó 21 permisos de exploración geotérmica además de dos nuevas concesiones de explotación durante 2015, lo que asegura crecimientos importantes para la geotermia en un mediano plazo.

La capacidad instalada de energía geotérmica ha disminuido en 0.5% anualmente en la década de 2006-2016. Se cuenta con 8 centrales geotermoeléctricas que representan el 1.2% de la capacidad instalada total del país (909 MW). Adicionalmente, presenta un potencial probado de 2,610 GWh, probable de 45,207 GWh y posible de 52,013 GWh, según lo reportado por el INEL en 2016.

La geotermia, que proporciona generación de carga base[18], ha disminuido su participación en la matriz de generación eléctrica, ubicándose al cierre de 2016, en 6,148 GWh, 183 GWh menor que lo reportado en 2015 (véase Figura 2.21).

FIGURA 2. 21. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA, 2006-2016
(MW, GWh)

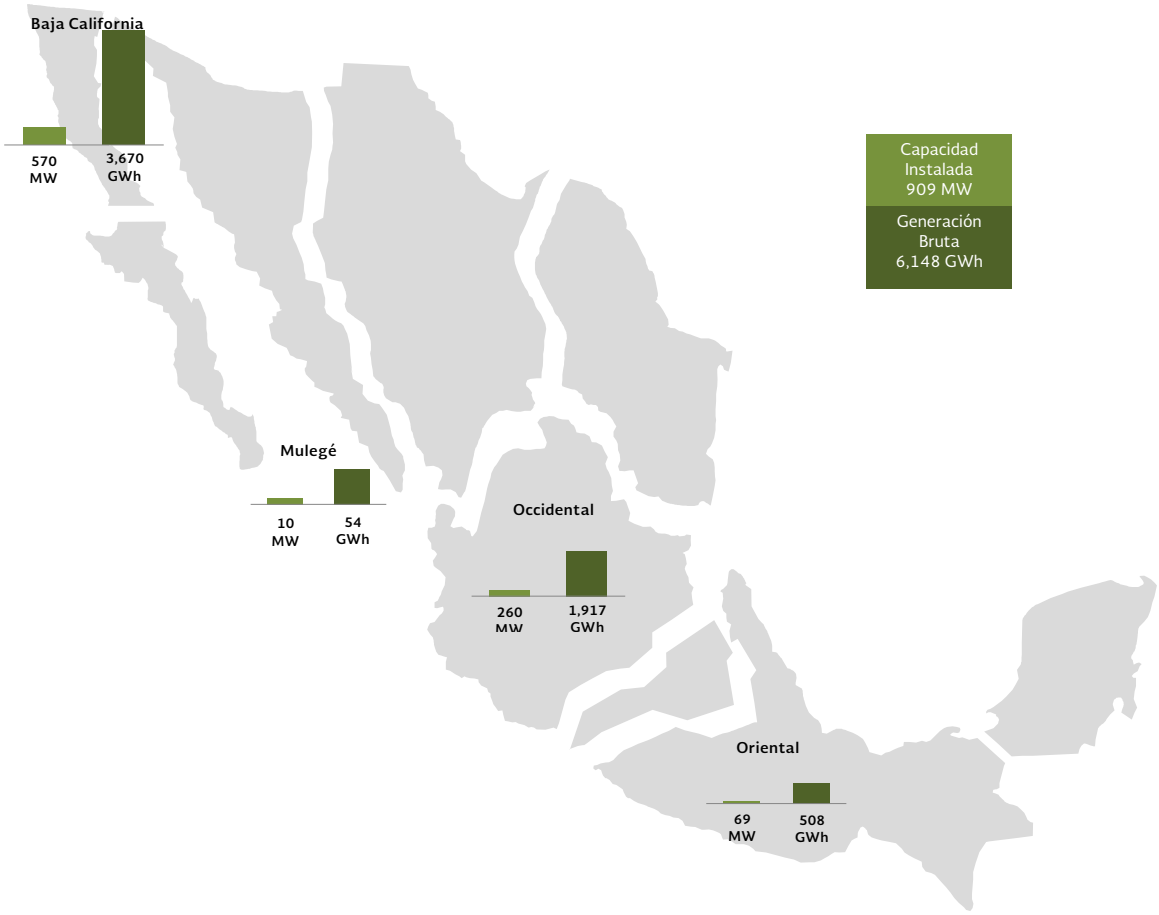


Fuente: Elaborado por SENER.

Existe una diversidad de campos geotérmicos ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur (Mulegé), Nayarit, Michoacán y Puebla. Para el caso de Baja California Sur, esta región tiene la mayor participación de generación de energía eléctrica con tecnología geotérmica con el 60% del total en el país, con las centrales Cerro Prieto I, II, III y IV (véase Figura 2.22 y Cuadro A.3 en Anexo estadístico).

[18] Se considera generación base porque su operación no se ve afectada por variaciones climatológicas o estacionales.

FIGURA 2. 22. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE CENTRALES GEOTÉRMICAS POR REGIÓN DE CONTROL 2016
(MW, GWh)

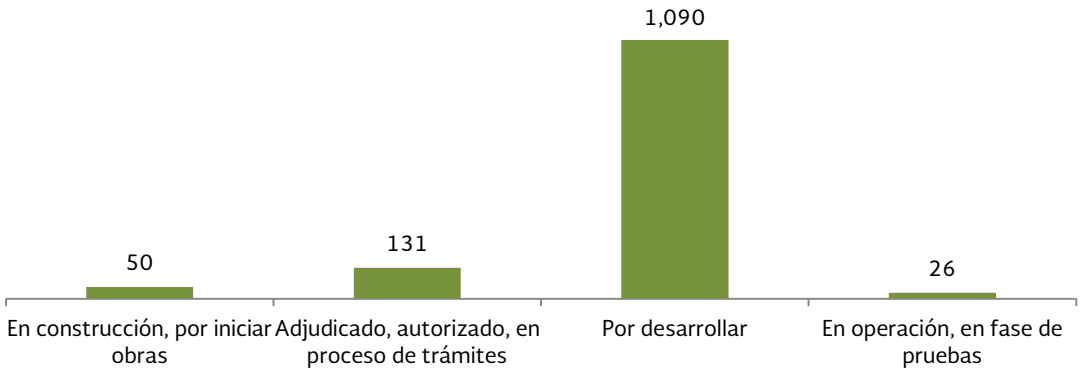


Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Con la entrada en vigor de la nueva LEG, la industria se ha visto renovada por el interés en el desarrollo y aprovechamiento de los recursos geotérmicos del país, a través del reconocimiento, la exploración y explotación de los yacimientos geotérmicos.

Para el ejercicio de planeación 2017-2031 del SEN, se tiene contemplado la instalación de 1,298 MW de capacidad de generación nueva, de la cual 84% son proyectos por desarrollar (véase Figura 2.23).

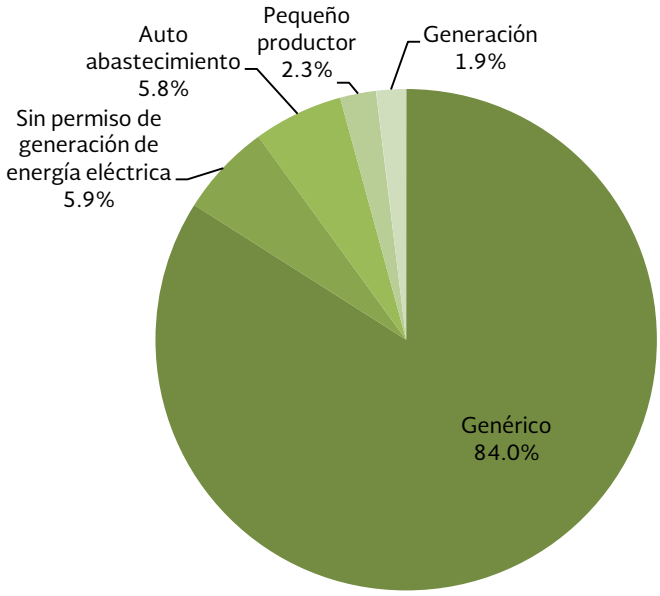
FIGURA 2. 23. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DE PROYECTO DE CENTRALES GEOTÉRMICAS, 2017-2031
(MW)



Incluye aquellos proyectos de generación con estatus: Condicionado, Cancelado en PEF 2016, con avance en el proceso de interconexión ante CENACE y suspendido
Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Bajo el nuevo esquema de generadores, se prevé que el 84% de la capacidad adicional provenga de la modalidad de generador genérico (1,090 MW), donde se espera una alta participación del sector privado y de nuevos proyectos de CFE, como el ganador en la segunda Subasta Eléctrica "Los Azufres III, Fase II".

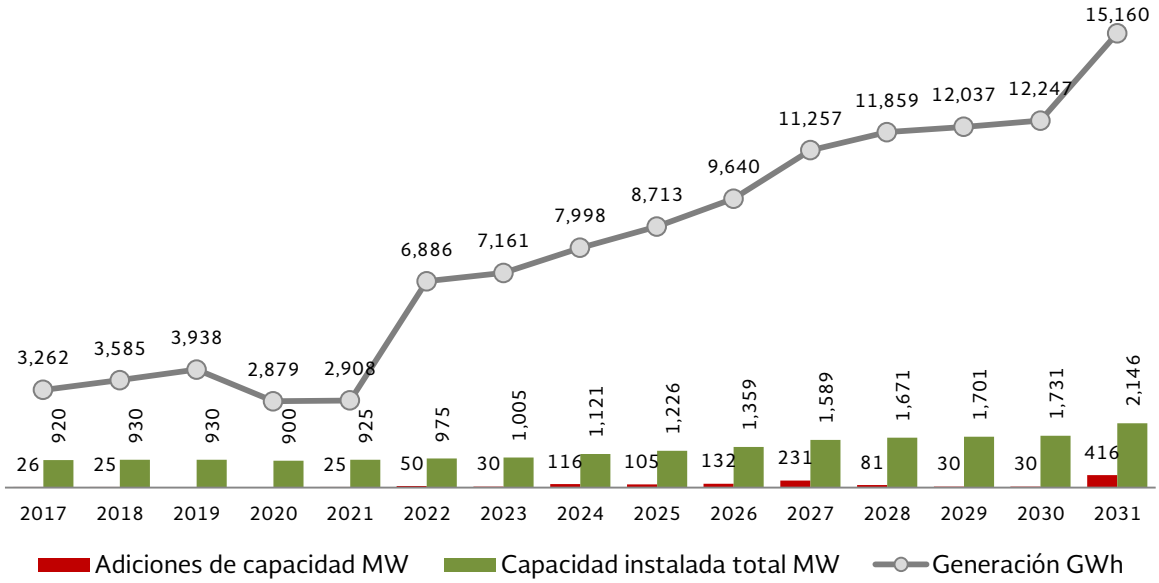
FIGURA 2. 24. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD DE GENERACIÓN GEOTÉRMICA
(Porcentaje)



Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

Entre 2017 y 2031, según lo publicado en el PRODESEN 2017-2031, se prevé un retiro de capacidad de 30 MW de las centrales: Los Humeros U3, U6 y U8; Los Azufres U2, U6 y U10 y Cerro Prieto. Para dar cumplimiento a las metas de generación eléctrica con energías limpias, se prevé que al 2024 se tenga una capacidad instalada de 1,121 MW de energía geotérmica. De este modo, tomando en cuenta un factor de planta del 80%, entre 2017 y 2031 se prevé que la generación eléctrica con geotermia se incremente 364.8%, para ubicarse en 15,160 GWh al final del período prospectivo, como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 2. 25. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD A INSTALAR Y GENERACIÓN GEOTÉRMICA 2017-2031
(MW, GWh)

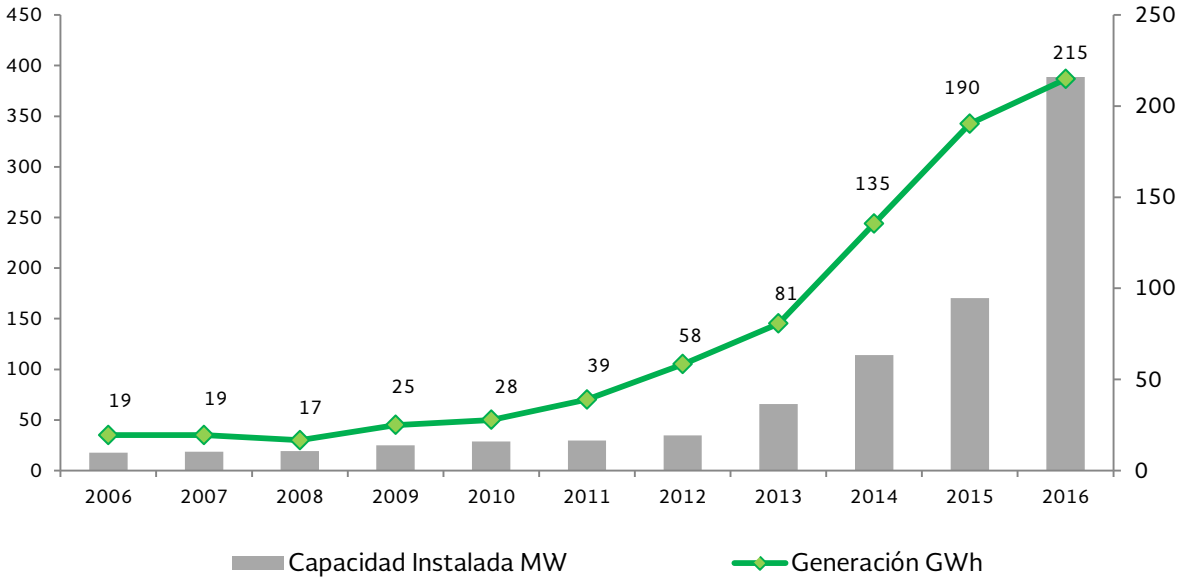


Fuente: Elaborado por SENER con datos de PRODESEN 2017-2031.

2.4.4. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la fuente con mayor crecimiento a nivel mundial y en México ha tenido una creciente participación. En la última década la capacidad instalada con tecnología solar creció anualmente en promedio 36.3%, pasando de 17.6 MW en 2006 a 388.6 MW en 2016. Asimismo, la generación de energía eléctrica con energía solar creció a un ritmo de 27.1%, como se muestra en la Figura 2.26.

FIGURA 2. 26. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2006-2016
(MW, GWh)

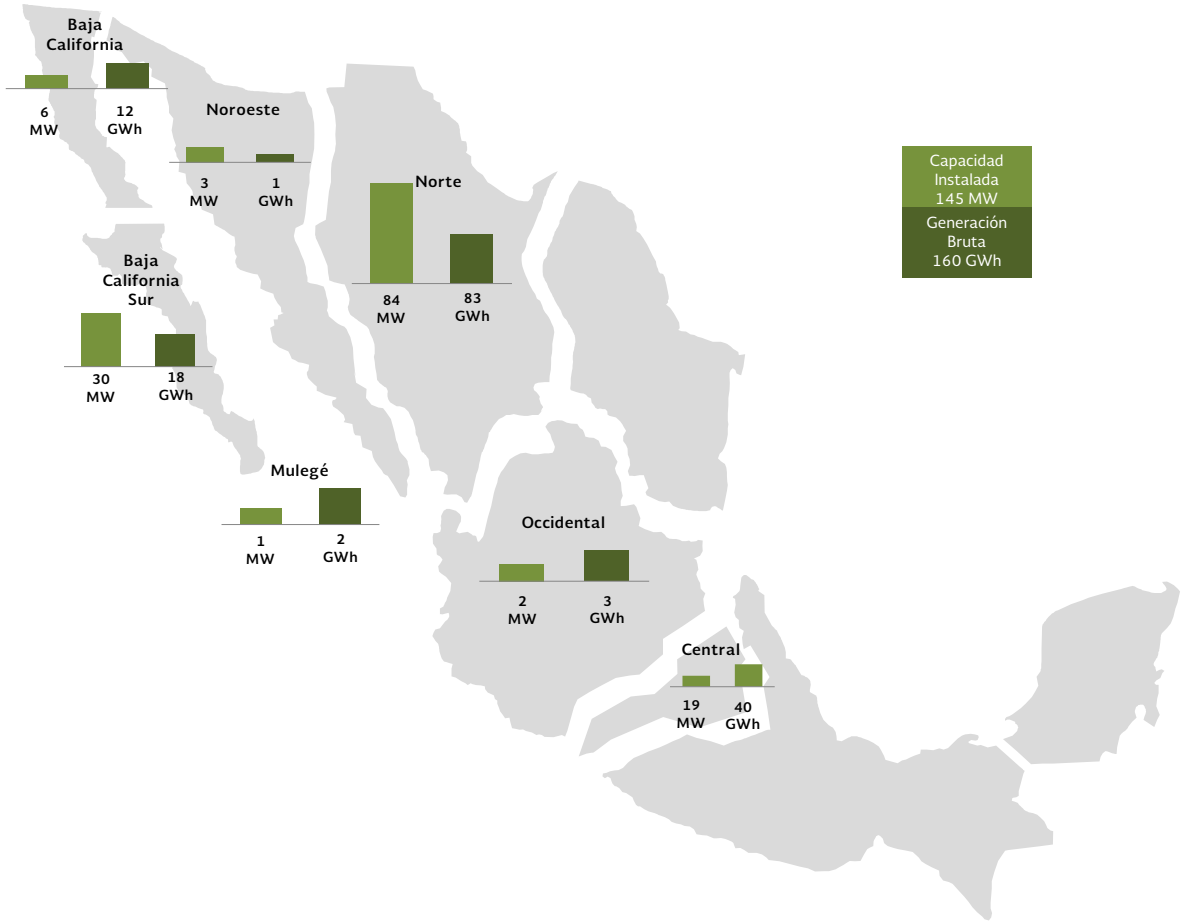


*Incluye Generación Distribuida Solar
Fuente: Elaborado por SENER.

Al cierre de 2016 se registraron 17 centrales ubicadas en 8 estados de la República. La región Norte presentó el mayor nivel reportado de capacidad y generación eléctrica como se muestra en la Figura 2.23, con la participación de 5 centrales bajo la modalidad de pequeño productor y una de autoabastecimiento[19].

[19] Para mayor detalle consulte el cuadro A.4 en el Anexo estadístico.

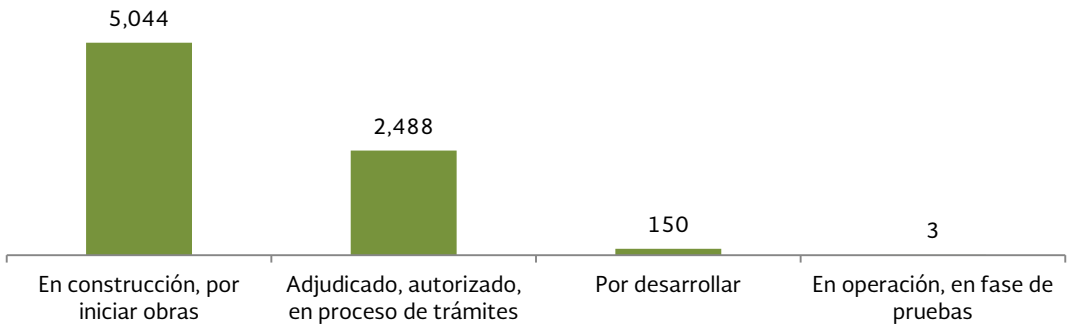
FIGURA 2. 27. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE CENTRALES SOLARES POR REGIÓN DE CONTROL 2016
(MW, GWh)



No incluye Generación Distribuida Solar
Fuente: Elaborado por SENER con información de PRODESEN 217-2031.

Derivado de los resultados obtenidos en las dos primeras Subastas Eléctricas, se tiene contemplado la instalación de más de 5,400 mil MW de nueva capacidad solar en el período 2017-2019, y el ejercicio de planeación estima se adicione un total de 7,685 MW, de los cuales el 65.4% son proyectos en construcción o por iniciar obras (véase Figura 2.28).

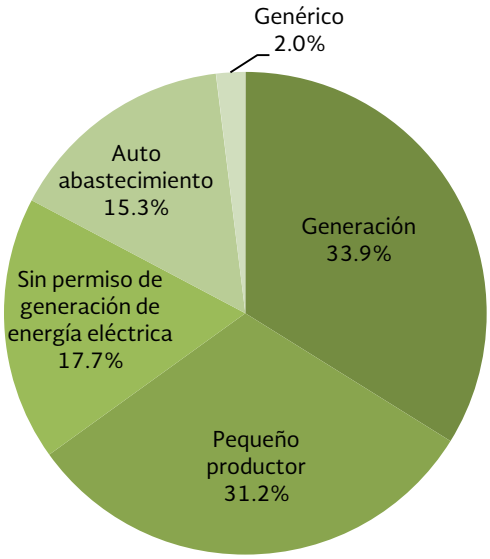
FIGURA 2. 28. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DE PROYECTO DE CENTRALES SOLARES, 2017-2031
(MW)



Fuente: Elaborado por SENER con información de PRODESEN 217-2031.

De la capacidad adicional por modalidad el 65.1% provendrá de los esquemas de Generación y Pequeño productor como se observa en la siguiente figura.

FIGURA 2. 29. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD DE GENERACIÓN SOLAR
(Porcentaje)



Fuente: Elaborado por SENER con información de PRODESEN 217-2031.

Entre 2017 y 2031, se prevé un crecimiento promedio anual de 21.1% de la capacidad de generación a instalar, pasando de 539 MW en 2017 a 7,830 MW en 2031. Cabe destacar que entre 2017 y 2020, se estima se instalen 5,820 MW de capacidad, siendo en ese mismo período donde se tienen considerados los proyectos ganadores de las dos primeras Subastas Eléctrica a Largo Plazo.[20].

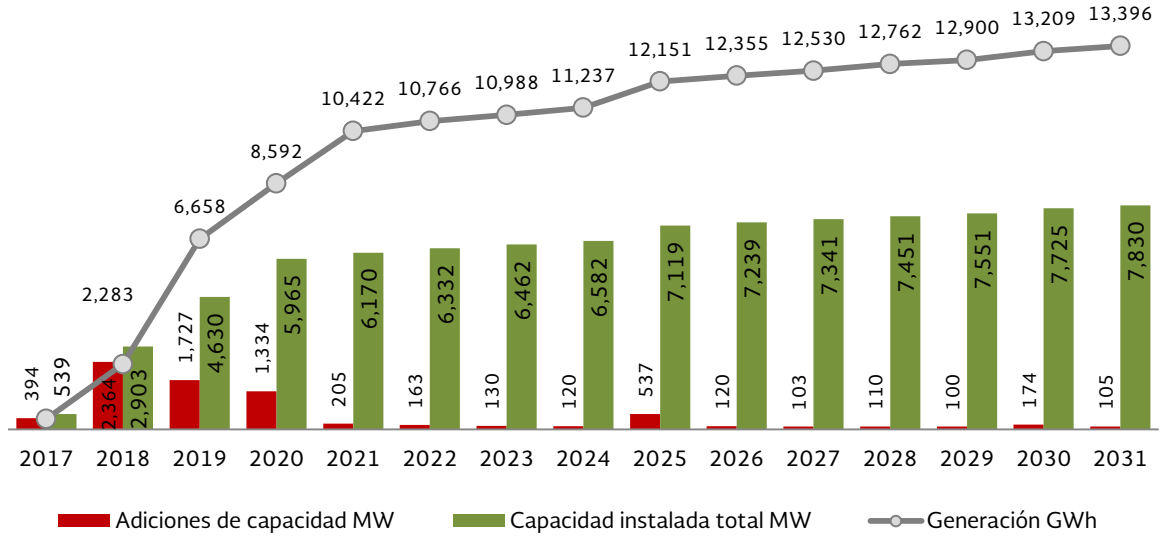
Como resultado de los proyectos ganadores de la tercera subasta, se adicionaran 3,040,029 MWh/año adicionales. Estos proyectos entrarán en operación entre julio de 2019 y junio de 2020.

[20] El PRODESEN 2017-2031 no considera a los ganadores de la 3era Subasta de Largo Plazo

La generación eléctrica con tecnología solar se incrementará a una tasa media anual de 29.3% para ubicarse en 150,618 GWh en el 2031 y tener una participación de 2.9% dentro de la matriz energética (véase Figura 2.30).

FIGURA 2. 30. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD A INSTALAR Y GENERACIÓN SOLAR 2017-2031

(MW, GWh)



Fuente: Elaborado por SENER con información de PRODESEN 217-2031.

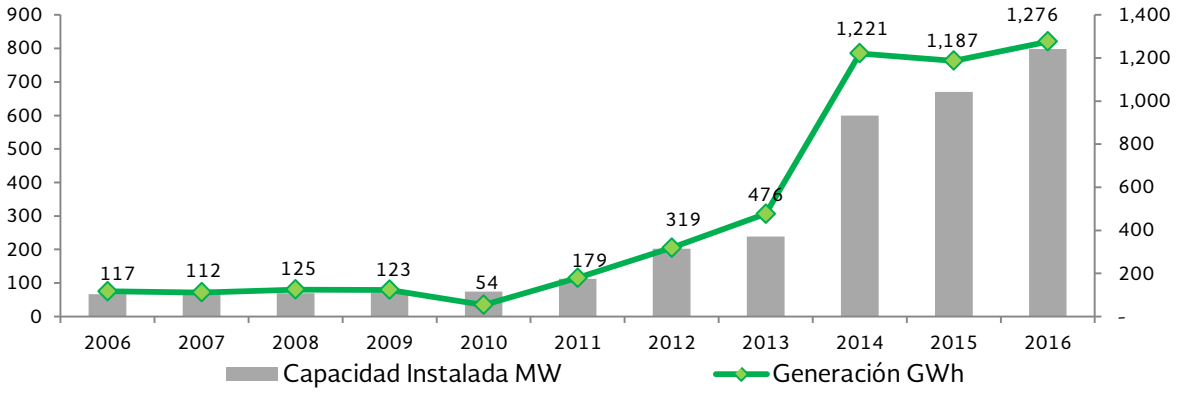
2.4.5. Bioenergía

En México los residuos orgánicos y en general la biomasa tienen un importante potencial de generación de biogás para la producción de energía eléctrica, para uso vehicular o para su inyección a una red de gas natural como biometano, situación que se estima similar para la biomasa forestal y la elaboración de pellets para la generación de calor o energía eléctrica.

En 2016, la capacidad instalada de biocombustibles fue del 1.2 % del total, equivalentes a 881.5 MW, de los cuales 798.3 MW corresponden a bagazo de caña y 83.1 MW para biogás; con un 1.09% y 0.11% respectivamente de capacidad instalada.

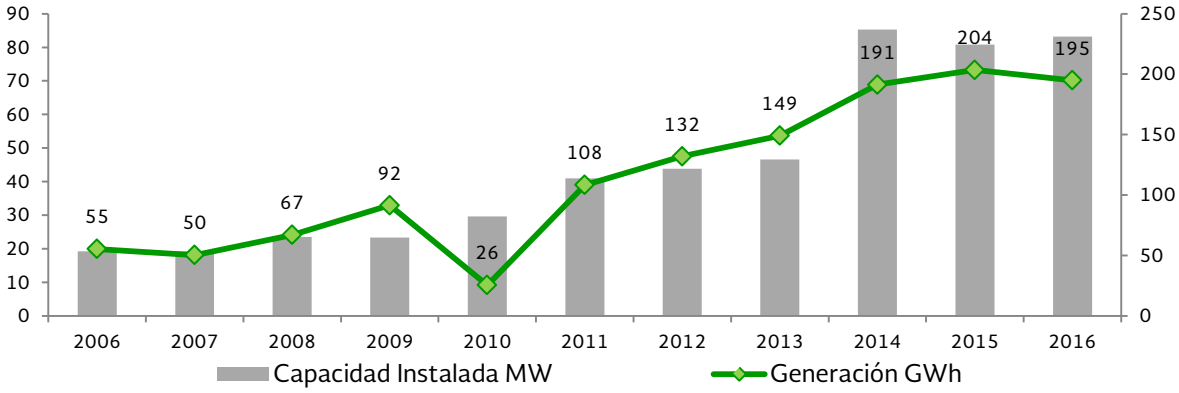
La participación de Bioenergía en la matriz de generación eléctrica fue del 0.46% en 2016, equivalente a 1,471 GWh, de los cuales 1, 276.4 GWh corresponden a bagazo de caña y 194.8 GWh a biogás (véase Figura 2.31 y 2.32).

FIGURA 2. 31. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON BAGAZO, 2006-2016
(MW, GWh)



Fuente: Elaborado por SENER.

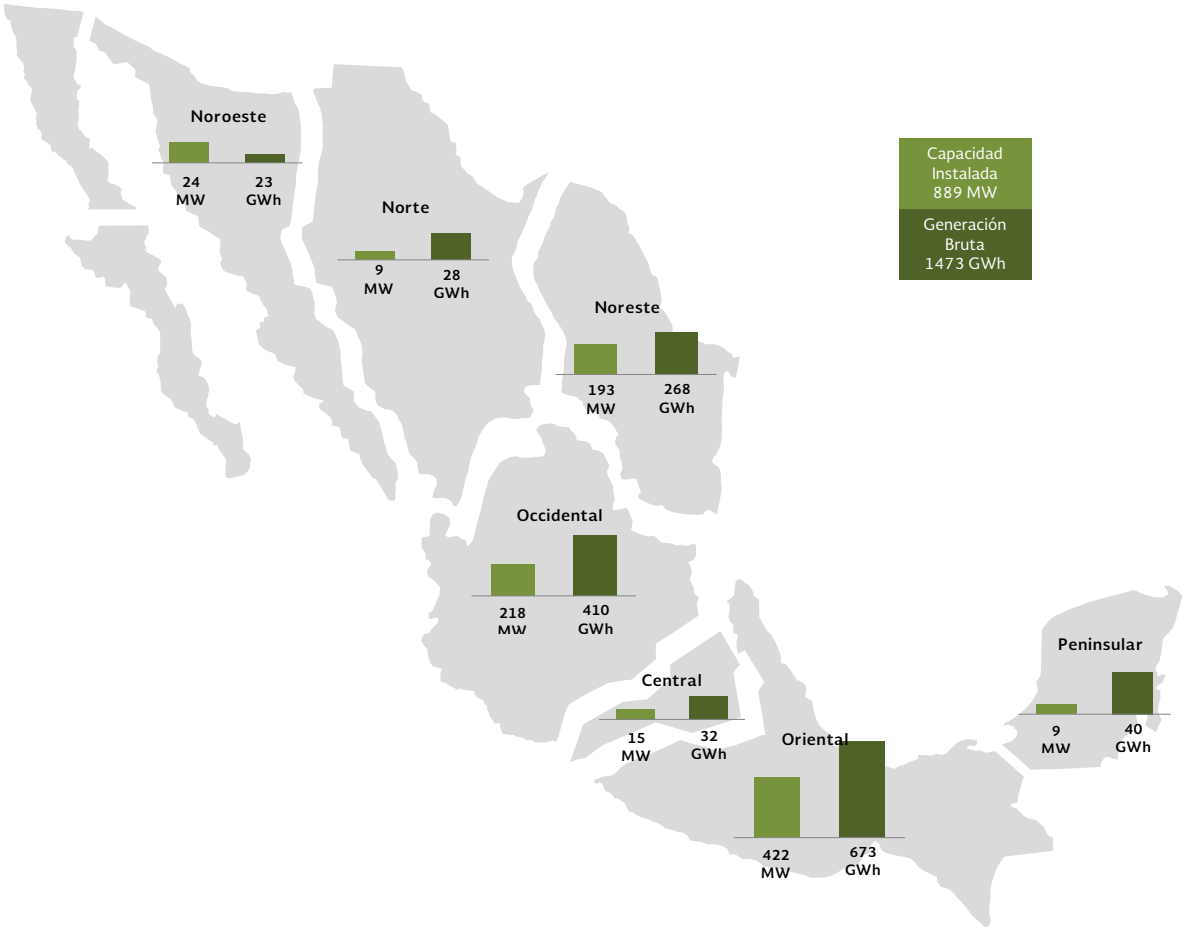
FIGURA 2. 32. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON BIOGÁS, 2006-2016
(MW, GWh)



Fuente: Elaborado por SENER.

Al cierre de 2016 se registraron 75 plantas de bioenergía dentro del SIN[21], siendo la región Oriental la que mayor participación tuvo tanto en capacidad instalada como generación eléctrica, con el 47.5% y 45.7% respectivamente del total nacional, como se observa en la siguiente figura.

FIGURA 2. 33. CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE CENTRALES DE BIOENERGÍA POR REGIÓN DE CONTROL 2016
(MW, GWh)

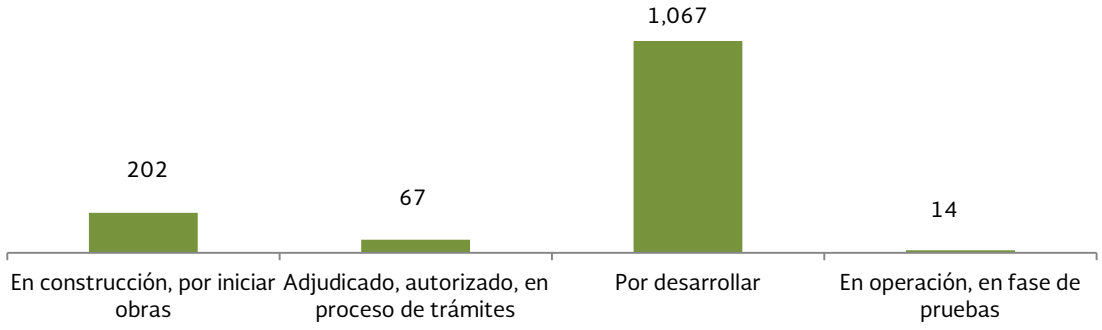


Incluye Biogás, Biomasa y Licor negro.
Fuente: Elaborado por SENER, con información del PRODESEN 2017-2031.

Entre 2017 y 2031, se prevé un incremento de capacidad de 1,348 MW con 36 nuevas plantas, de las cuales el 79.1% son proyectos aún por desarrollar y el 15% ya están en construcción o por iniciar obras (véase Figura 2.34 y 2.35).

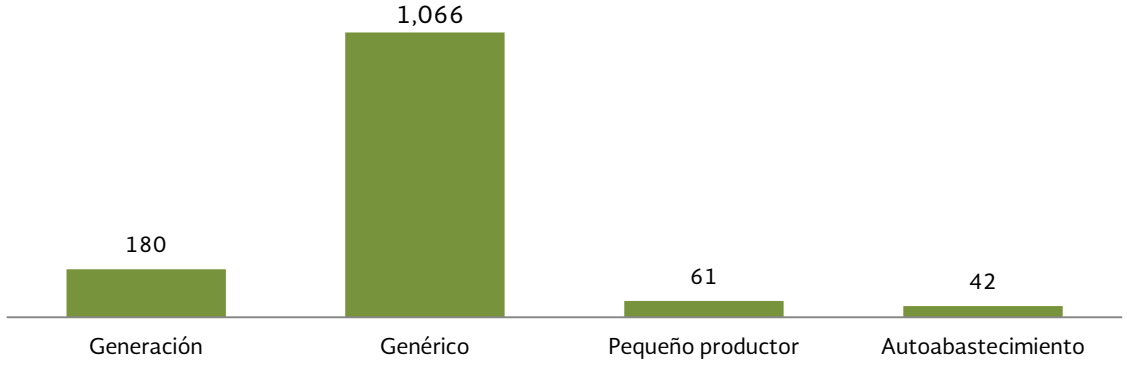
[21] Para mayor detalle véase Cuadro A.5 en el Anexo estadístico.

FIGURA 2. 34. CAPACIDAD ADICIONAL POR SITUACIÓN DE PROYECTO DE CENTRALES DE BIOENERGÍA 2017-2031
(MW)



Fuente: Elaborado por SENER, con información del PRODESEN 2017-2031.

FIGURA 2. 35. CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD DE BIOENERGÍA 2017-2031
(MW)

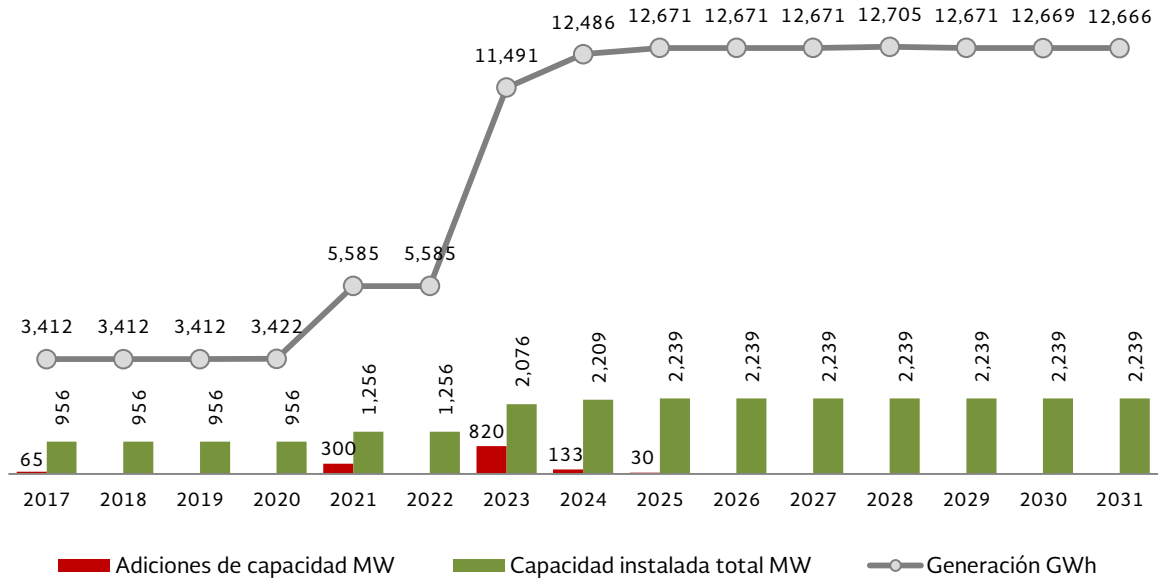


Fuente: Elaborado por SENER, con información del PRODESEN 2017-2031.

Entre 2017 y 2031, se estima que la capacidad de generación eléctrica con bioenergía se incremente en 6.3% anual, para ubicarse en 2,239 MW instalados al cierre del mismo período.

Se prevé una mayor participación de la bioenergía en la matriz de generación eléctrica pasando de 3,412 GWh en 2017 a 12,666 GWh en 2031, lo que representa una participación de 2.8% dentro del total de generación (véase Figura 2.36).

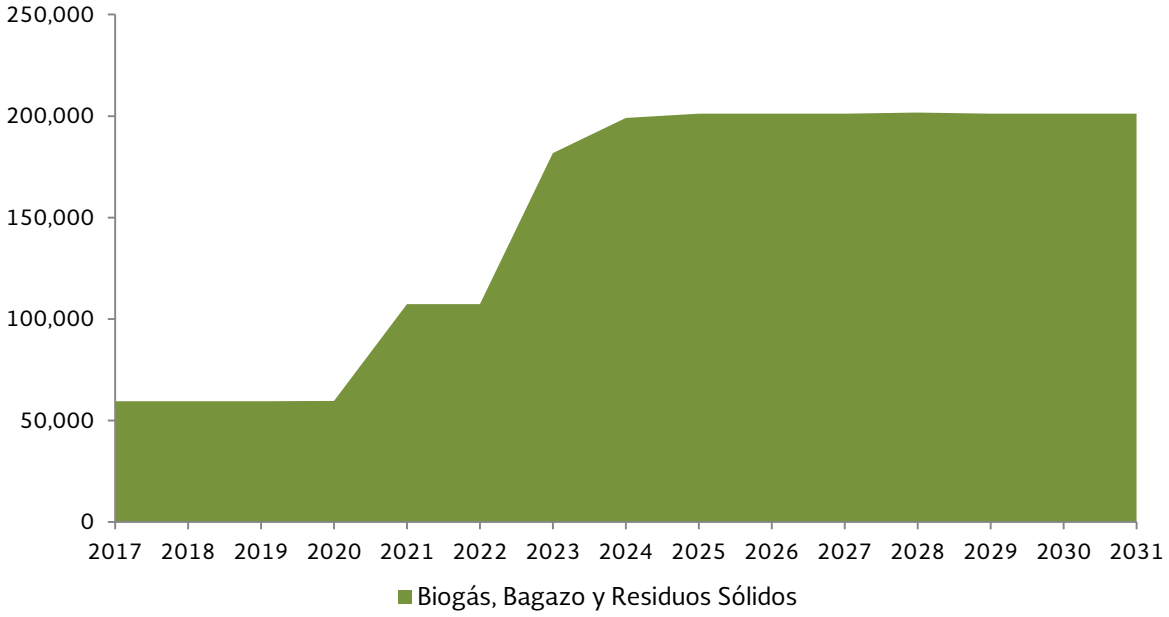
FIGURA 2. 36. EVOLUCIÓN DE LAS ADICIONES DE CAPACIDAD, CAPACIDAD A INSTALAR Y GENERACIÓN CON BIOENERGÍA 2017-2031
(MW, GWh)



Fuente: Elaborado por SENER, con información del PRODESEN 2017-2031.

Para cubrir la generación eléctrica estimada, se prevé un incremento de combustible proveniente de biogás, bagazo y residuos sólidos de 141, 668 Tj entre 2017 y 2031, lo que representa un incremento de 238%, como se muestra en la Figura 2.37.

FIGURA 2. 37. CONSUMO DE COMBUSTIBLE 2017-2031
(Terajoule)



.Fuente: Elaborado por SENER, con información del PRODESEN 2017-2031.

2.5. Infraestructura de Transmisión para Energías Limpias

Uno de los objetivos del Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión (RNT), considerado para el ejercicio de planeación del PRODESEN 2017-2031, es la inclusión de los centros de generación de energías limpias a la RNT, por lo que contiene, además del proyecto de Interconexión Sureste-Peninsular, la expansión y equipamiento del sistema de transmisión de la energía eléctrica en las zonas con alto potencial de Energía Limpia mediante los proyectos que se describirán a continuación.

2.5.1. Proyecto Red de Transmisión para interconectar el Noroeste, Norte y Occidente del país

Este proyecto consiste en la construcción de 3,806.8 km-c de líneas de transmisión en 400 km, transformación de 5,000 MVA y compensación de 4,042.3 MVAr con tecnología en Corriente Alterna para incorporar el alto potencial de recursos eólicos y solares a fin de propiciar la instalación de parques de generación eólicos y de solar fotovoltaica en Sonora, Chihuahua y Coahuila, Aguascalientes, Querétaro y San Luis Potosí, y el corredor de la Laguna-Saltillo.

2.5.2. Proyecto Red Transmisión para interconectar el Noreste y Centro del país

El proyecto consiste en la construcción de 1,400 km-c de Línea de Corriente Directa y 1,203.4 km-c de Línea de Corriente Alterna en 400 kV, transformación por 9,575 MVA y compensación de 1,483.3 MVAr para incorporar la integración de centrales eléctricas con fuente primaria de energía renovable eólica en la zonas del norte de Coahuila, zona Laguna-Saltillo y estado de Tamaulipas; e integrar centrales eléctricas convencionales con fuente primaria de energía a base de gas natural donde también se ha desarrollado en el Noreste, tanto ciclos combinados como cogeneración.

Los proyectos del Noroeste, Norte y Occidente, y Noreste y Centro son considerados en proceso de estudio en el PRODESEN 2017-2031, debido a que estarán en revisión por parte del CENACE, la CRE y la SENER a fin de llevar a cabo el análisis de dichos proyectos en cuanto a: i) la capacidad adicional probable para proyectos renovables, en particular eólicos y solares durante el período 2017-2024; ii) los criterios para determinar las zonas potenciales y capacidades de integración de generación solar y eólica, iii) los factores de planta para la simulación de las condiciones puntuales de flujos de potencia de la generación eólica y solar, iv) la posible determinación de diversas zonas de potencia en el SIN, v) la infraestructura existente y programada de gasoductos, entre otros.

ESTUDIOS Y TENDENCIAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

México cuenta con un alto potencial para el uso de las energías renovables, de ahí la importancia de aprovechar esta condición geográfica privilegiada y que si bien, los combustibles fósiles siguen presentes en la matriz energética, se espera que en un futuro su participación sea menor.

En el presente capítulo se muestran una serie de estudios y tendencias derivados de la Reforma Energética, para transitar a una economía limpia y sustentable mediante la promoción de generación de energía eléctrica con fuentes renovables. La importancia de dar a conocer estos estudios y tendencias en el documento de Prospectiva de Energías Renovables, es para darles difusión y que sirvan como referente en futuras investigaciones y desarrollo de inversiones, así como para la toma de decisiones estratégicas que promuevan un mejor uso de los recursos con los que cuenta el país.

Es importante resaltar que algunos de los estudios mostrados se encuentran en proceso de elaboración por lo que podrían o no, estar considerados dentro de la planeación del sector energético; de igual manera, algunos ya se encuentran publicados en diferentes plataformas de información.

3.1. Atlas de Potencial Hidroeléctrico

A partir del segundo semestre de 2017, el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL, antes INERE) cuenta con un Atlas de Potencial Hidroeléctrico. Esta nueva herramienta de apoyo e innovación tecnológica, que complementa al INEL, permite identificar sitios con alto potencial hidroeléctrico en el país y muestra un progreso considerable en el marco de herramientas que aportan y permiten consultas en un entorno de información compartida y actualizada.

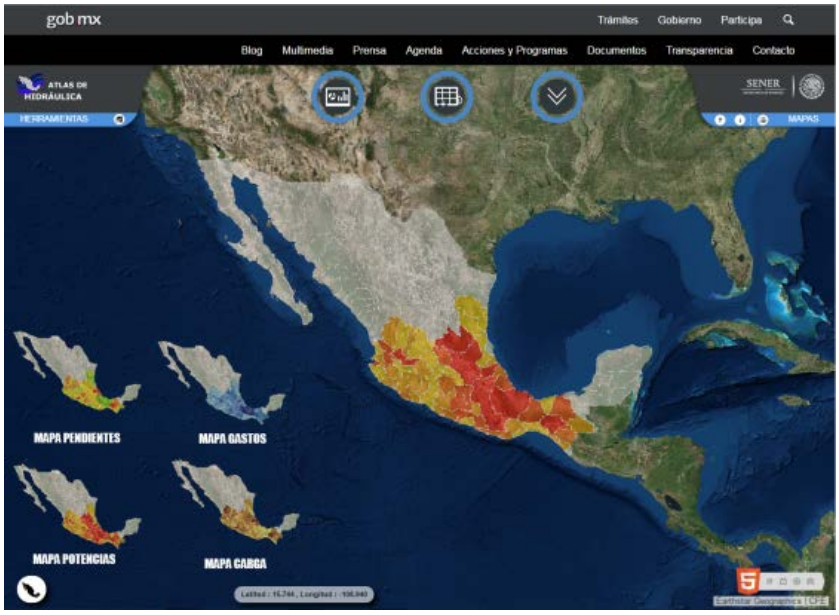
El Atlas fue desarrollado a partir del análisis de datos obtenidos de 1,594 estaciones hidrométricas censadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Para gestionar el Atlas, se incorporaron los datos de las estaciones hidrométricas que cuentan con 20 años, para el periodo 1994-2013 y un valor mayor a 0,3 m3/s para una permanencia de 85% del tiempo.

La herramienta permite consultar información del potencial de las 67 cuencas hidrográficas más importantes del país y que representan poco más del 85% del recurso hídrico nacional. Las cuencas ocupan el 45% del territorio nacional y son las que cuentan con una mayor densidad de estaciones hidrométricas en funcionamiento.

La plataforma cuenta con 46 mapas temáticos divididos en dos tipos de escalas:

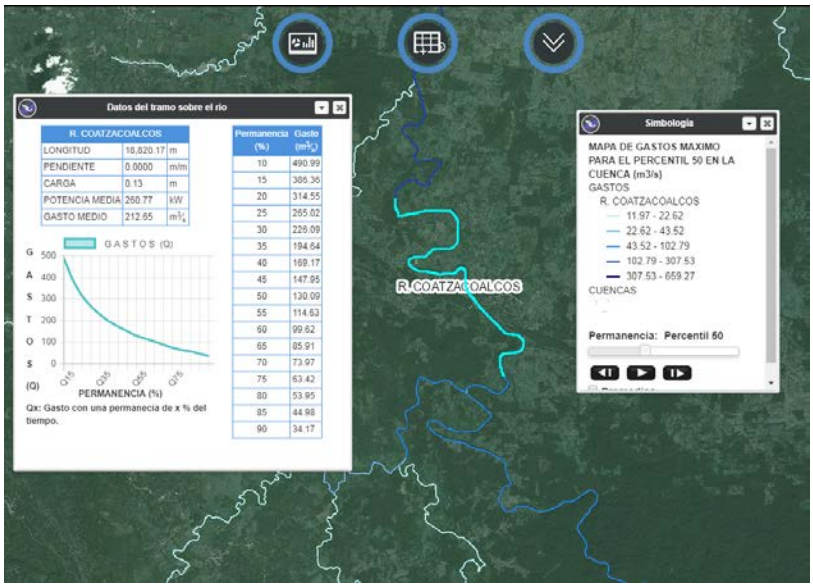
- **Mapa Hidrológico-Fisiográfico.** Se pueden observar mapas temáticos que tienen como división las cuencas hidrográficas a nivel nacional (Figura 3.1); y a nivel regionalizado se muestran los principales parámetros naturales de los cauces (Figura 3.2).

FIGURA 3. 1. MAPAS A NIVEL NACIONAL DE PENDIENTES, GASTOS, CARGAS Y POTENCIAS[22]



Fuente: SENER.

FIGURA 3. 2. MAPA DE GASTO POR TRAMO DE RÍO



Fuente: SENER.

- **Mapa Hidrológico-Antropogénico.** Se representan los principales factores humanos ponderados para determinar una estrategia en la elaboración de proyectos.

El Atlas de potencial hidroeléctrico tiene caracterizados los ríos por tramo y permite distinguir tipos de proyectos que se pueden desarrollar en cada tramo, considerando un tipo y tamaño de proyecto o una

[22] Para mayor detalle consulte https://dgel.energia.gob.mx/atlashidro/

combinación de estos, mediante la evaluación de las características fisiográficas e hidráulicas. Permite además realizar el análisis de potencial considerando parámetros como son la carga y los caudales para 20 tiempos de estabilidad del agua en cada tramo de río.

Como resultado de la evaluación del potencial de las 67 cuencas hidrográficas, el INEL estima una capacidad potencial instalable a nivel nacional de poco más de 28 GW y una generación estimada de 247,053 GWh/a.

La mayor parte del potencial se estima para proyectos de pequeña escala, menores o iguales a 30 MW y sólo identifica 24 proyectos de gran escala, como se observa en el siguiente cuadro.

CUADRO 3. 1. RESUMEN DEL POTENCIAL DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS
(MW, GWh)

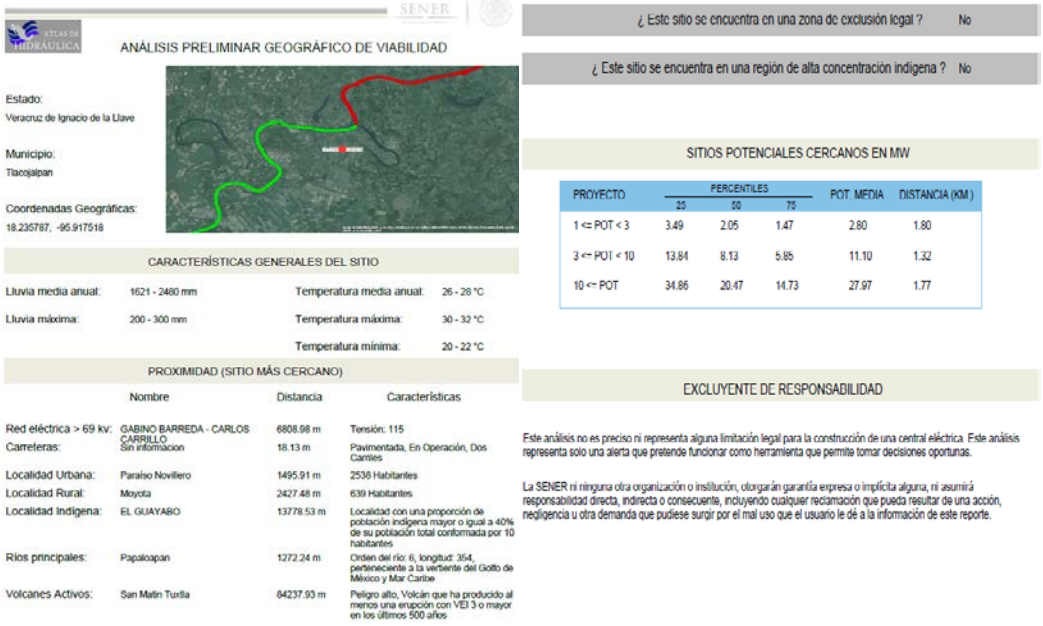
Atlas de Hidráulica				
Proyectos de Carga Baja				
Tipo de Proyecto	Tamaño MW	Total	Potencia Suma de Proyectos (MW)	Generación Suma de Proyectos (GWh)
Todos los proyectos		100,008	28,202	247,054
Hidroeléctricas	> 30	24	1,145	10,026
Pequeña hidroeléctrica	1 > 30	611	5,616	49,194
Mini hidroeléctrica	0.01 > 1	4,443	8,633	75,629
Micro hidroeléctrica	< 0.01	94,930	12,809	112,204

Fuente: SENER.

El Atlas además permite identificar el potencial de desarrollo de proyectos desde dos perspectivas diferentes:

a) El usuario define un centro, región o población, que requiera de energía eléctrica y que podría ser alimentado de alguna central hidroeléctrica, la herramienta proporciona los sitios posibles más cercanos con 3 diferentes potencias (véase Figura 3.3).

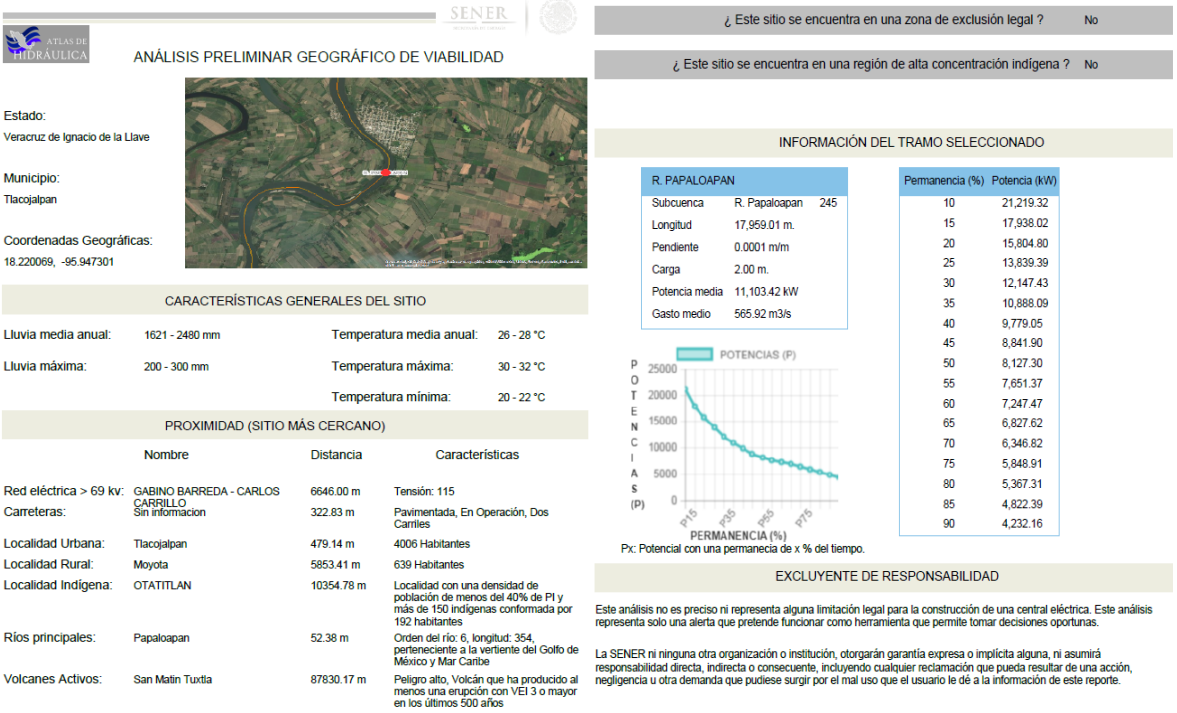
FIGURA 3. 3. EJEMPLO DE ANÁLISIS DE SITIOS CERCARNOS A UN SITIO ELEGIDO



Fuente: SENER.

b) El usuario previamente ha identificado un sitio en particular y le interesa realizar estudios de pre factibilidad. En este caso la herramienta sirve como apoyo para proporcionar información sobre los factores económico, social y ambiental, de la zona, así como el potencial hidroeléctrico del sitio (véase Figura 3.4)

FIGURA 3. 4. EJEMPLO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE VIABILIDAD



ANÁLISIS PRELIMINAR GEOGRÁFICO DE VIABILIDAD

Estado: Veracruz de Ignacio de la Llave

Municipio: Tlacojalpan

Coordenadas Geográficas: 18.220069, -95.947301

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SITIO

Lluvia media anual:	1621 - 2480 mm	Temperatura media anual:	26 - 28 °C
Lluvia máxima:	200 - 300 mm	Temperatura máxima:	30 - 32 °C
		Temperatura mínima:	20 - 22 °C

PROXIMIDAD (SITIO MÁS CERCANO)

	Nombre	Distancia	Características
Red eléctrica > 69 kv:	GABINO BARREDA - CARLOS CARRILLO	6646.00 m	Tensión: 115
Carreteras:	Sin informacion	322.83 m	Pavimentada, En Operación, Dos Carriles
Localidad Urbana:	Tlacojalpan	479.14 m	4006 Habitantes
Localidad Rural:	Moyota	5853.41 m	639 Habitantes
Localidad Indígena:	OTATITLAN	10354.78 m	Localidad con una densidad de población de menos del 40% de PI y más de 150 indígenas conformada por 192 habitantes
Ríos principales:	Papaloapan	52.38 m	Orden del río: 6, longitud: 354, perteneciente a la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe
Volcanes Activos:	San Matin Tuxtla	87830.17 m	Peligro alto, Volcán que ha producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 500 años

¿ Este sitio se encuentra en una zona de exclusión legal ? No

¿ Este sitio se encuentra en una región de alta concentración indígena ? No

INFORMACIÓN DEL TRAMO SELECCIONADO

R. PAPALOAPAN		
Subcuenca	R. Papaloapan	245
Longitud	17,959.01 m.	
Pendiente	0.0001 m/m	
Carga	2.00 m.	
Potencia media	11,103.42 kW	
Gasto medio	565.92 m3/s	

Permanencia (%)	Potencia (kW)
10	21,219.32
15	17,938.02
20	15,804.80
25	13,839.39
30	12,147.43
35	10,888.09
40	9,779.05
45	8,841.90
50	8,127.30
55	7,651.37
60	7,247.47
65	6,827.62
70	6,346.82
75	5,848.91
80	5,367.31
85	4,822.39
90	4,232.16

Px: Potencial con una permanecia de x % del tiempo.

EXCLUYENTE DE RESPONSABILIDAD

Este análisis no es preciso ni representa alguna limitación legal para la construcción de una central eléctrica. Este análisis representa solo una alerta que pretende funcionar como herramienta que permite tomar decisiones oportunas.

La SENER ni ninguna otra organización o institución, otorgarán garantía expresa o implícita alguna, ni asumirá responsabilidad directa, indirecta o consecuente, incluyendo cualquier reclamación que pueda resultar de una acción, negligencia u otra demanda que pudiese surgir por el mal uso que el usuario le dé a la información de este reporte.

Fuente: SENER.

El Atlas también permite conocer el potencial hidráulico total por divisiones políticas (estados y municipios) y divisiones hidrográficas (Cuencas y Subcuencas), lo que lo convierte en una excelente herramienta de planeación y desarrollo para gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales y empresas privadas.

La información del "Atlas de Potencial Hidroeléctrico" puede consultarse de manera libre y gratuita desde cualquier parte del país y del mundo a través del siguiente enlace:

https://dgel.energia.gob.mx/atlashidro/

3.2. Estudio de Integración de Energías Renovables en Baja California Sur

Baja California Sur (BCS) es relevante para estudiar el impacto de la integración de renovables porque es un sistema eléctrico aislado; la mayor parte de la electricidad se genera quemando combustibles fósiles importados (combustóleo y diésel), haciendo que sea el sistema eléctrico de México con los costos de generación eléctrica más altos y el más contaminante; además, el pronóstico promedio de crecimiento de demanda eléctrica es del 3.8 %, y tiene un potencial de recurso renovable muy atractivo, tanto para energía eólica y especialmente para energía solar.

3.2.1. Antecedentes

Este estudio fue realizado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés), como parte de la asistencia técnica que brinda a México en el marco de la Alianza de los Sistemas Eléctricos del Siglo 21 (21CPP, por sus siglas en inglés), una iniciativa de la Ministerial de Energías Limpias (CEM, por sus siglas en inglés). El estudio contó con recursos de la Fundación Fondo de Inversión para la Niñez (CIFF, por sus siglas en inglés) y de la supervisión y asesoría del CENACE, de la SENER, de la CRE y del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL).

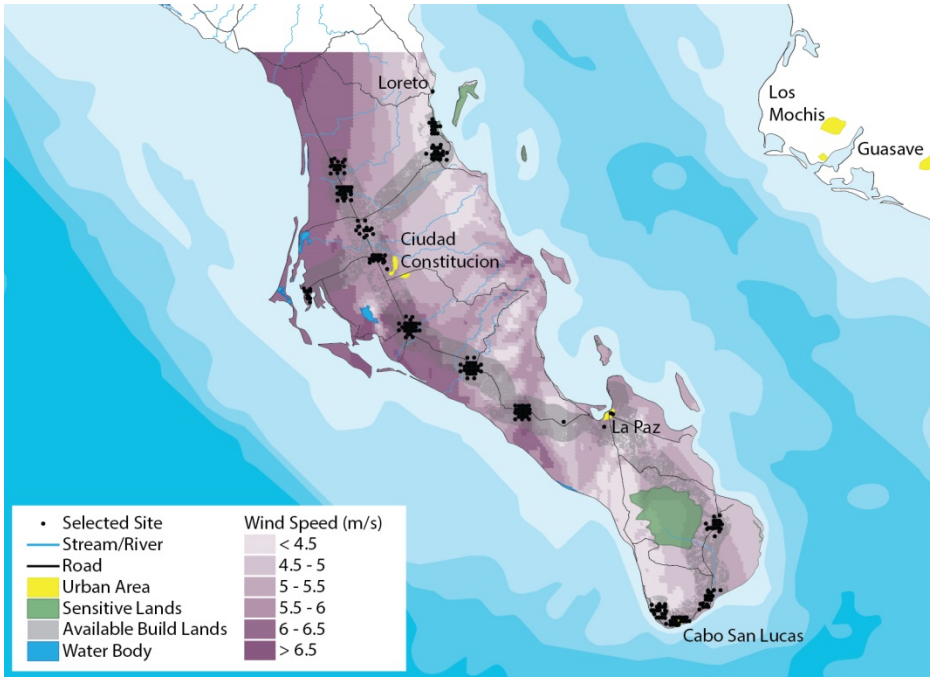
3.2.2. Objetivo del estudio y Metodología

El objetivo del BAJA-RIS es evaluar el impacto potencial en los costos de producción de participaciones crecientes de la energía eólica y solar en la operación aislada del sistema eléctrico de BCS para el año 2024. Estudiar el impacto de las energías eólica y solar en la operación y confiabilidad del sistema eléctrico es imperativo debido a la naturaleza variable e incierta de dichos recursos.

El alcance de este estudio no incluye el análisis del comportamiento dinámico de las variables eléctricas y estabilidad del Sistema, por efecto de la intermitencia de la generación renovable, reducción de la energía cinética al reemplazar fuentes de generación convencionales por generación eólica y solar y, ante la ocurrencia de contingencias.

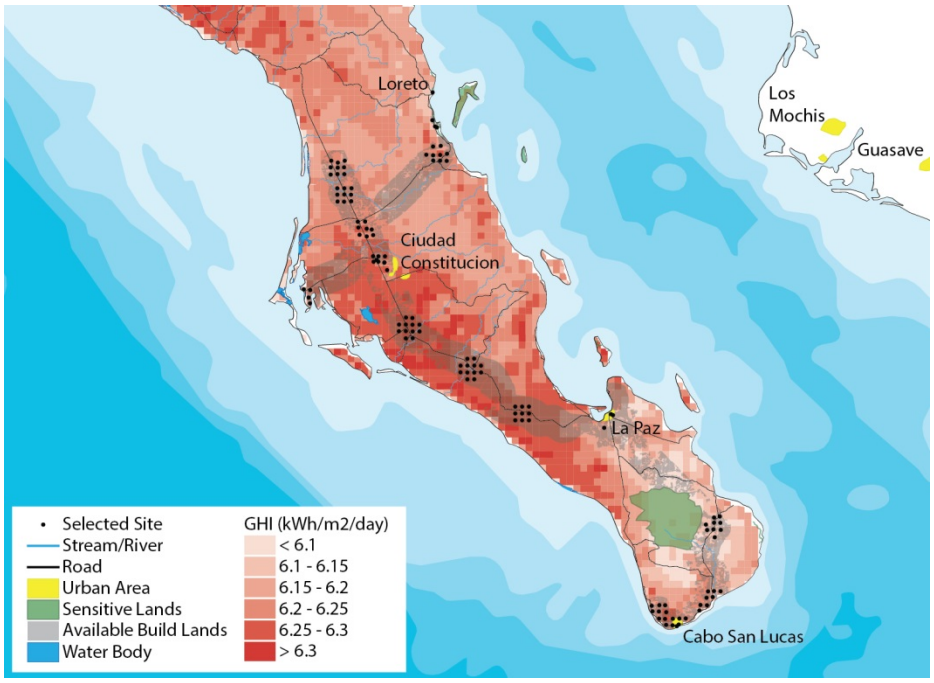
El estudio se realiza utilizando PLEXOS©, una herramienta comercial para modelar costos de producción. Ésta se utiliza para desarrollar un modelo de compromiso y despacho de unidades de generación que simula la operación horaria del sistema eléctrico aislado de BCS durante un año, bajo diferentes escenarios de participación de energías renovables, eólica y solar. Asimismo, se consideran las diferentes restricciones de generación, transmisión y demanda, así como diferentes restricciones operativas para mantener la confiabilidad y estabilidad del sistema. Éstas incluyen límites de flujos de electricidad entre zonas (Villa Constitución, La Paz y Los Cabos), una participación máxima renovable instantánea igual al 50% de la demanda eléctrica instantánea, y un requisito dinámico de reserva operativa. El modelo fue construido utilizando datos reales de generación y demanda del año 2013, proporcionados por la Gerencia de Control Regional Baja California y la Subgerencia de Control La Paz de CENACE; así como otras estimaciones proporcionadas por la Subdirección de Planeación del CENACE y la SENER. Para poder desarrollar los escenarios potenciales con participaciones crecientes de energía eólica y solar, se utilizan dos bases de datos de recurso eólico y solar de NREL, el National Solar Radiation Database (NSRDB) y el WIND Toolkit. La calidad del recurso eólico y solar y un subconjunto de lugares potenciales para proyectos renovables (de los cuales se eligen algunos para construir los diferentes escenarios) se presentan en las Figuras 3.5 y 3.6.

FIGURA 3. 5. RECURSO EÓLICO EN BCS



Fuente: Elaborado por NREL con información del WIND Toolkit.

FIGURA 3. 6. RECURSO SOLAR EN BCS



Fuente: Elaborado por NREL con información del NSRDB.

3.2.3. Descripción de los escenarios

Se construyeron para el año 2024 seis diferentes escenarios con participaciones crecientes de energías renovables que van desde 3.5% hasta 40.1% de la generación total de energía eléctrica. Estos escenarios comparten los mismos generadores térmicos, la misma red de transmisión, la misma demanda eléctrica y la misma capacidad de generación solar fotovoltaica bajo esquemas de generación distribuida (15 MW)[23]. La única diferencia entre los escenarios son las capacidades de los generadores eólicos y solares conectados a la red de transmisión, los cuales van desde una capacidad instalada de 60 MW de energía solar en el escenario 1 hasta una capacidad de 323 MW y 250 MW en proyectos de energía solar y eólica a gran escala en el escenario 6, respectivamente (Ver Tabla 3.1). La demanda máxima prevista del sistema es 586 MW y corresponde a la demanda base por subestación en el año 2013, proyectada con además de un incremento equivalente a una tasa de crecimiento por subestación entre el año 2013 y 2024[24].

TABLA 3. 1. ESCENARIOS DE PARTICIPACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN BCS

Participación Renovable (% - generación)	Capacidad Instalada Energía Solar (MW)	Capacidad Instalada Energía Eólica (MW)	Capacidad Instalada Renovable (MW)	Penetración Renovable (% - capacidad instalada)	Penetración Renovable (% - demanda máxima)
3.5	60.0	0.0	75.0	9.4	12.8
9.5	83.0	50.0	148.0	17.0	25.3
15.4	103.0	100.0	218.0	23.2	37.2
23.6	168.0	150.0	333.0	31.6	56.8
32.5	245.0	200.0	460.0	38.9	78.5
40.1	323.0	250.0	588.0	44.9	100.3

Fuente: Elaborado por NREL.

Como se observa en el Cuadro 3.2, los generadores térmicos en el modelo tienen una capacidad instalada de 722 MW (464 MW de combustóleo y 258 MW de diésel) y son una representación aproximada de la generación térmica en BCS en 2024. Los datos fueron proporcionados por la Subgerencia de Control La Paz de CENACE, además de que integran información de las ediciones 2016 y 2017 del PRODESEN; en esta última, ya no se consideran inversiones en gas natural en el sistema de BCS en el periodo de análisis. Para los generadores térmicos se consideran los siguientes precios de combustible (en pesos mexicanos del año 2016 por millones de Unidades Térmicas Británicas): 216 por el combustóleo y 517 por el diésel.[25]

[23] Supuesto acordado con CENACE para la elaboración de este estudio con base en estimaciones del 2016.
[24] Las series de demanda por subestación para el año 2024 fueron proporcionadas por CENACE.
[25] Escenario de precios proporcionado por SENER con base en la información contenida en COPAR 2015 de CFE.

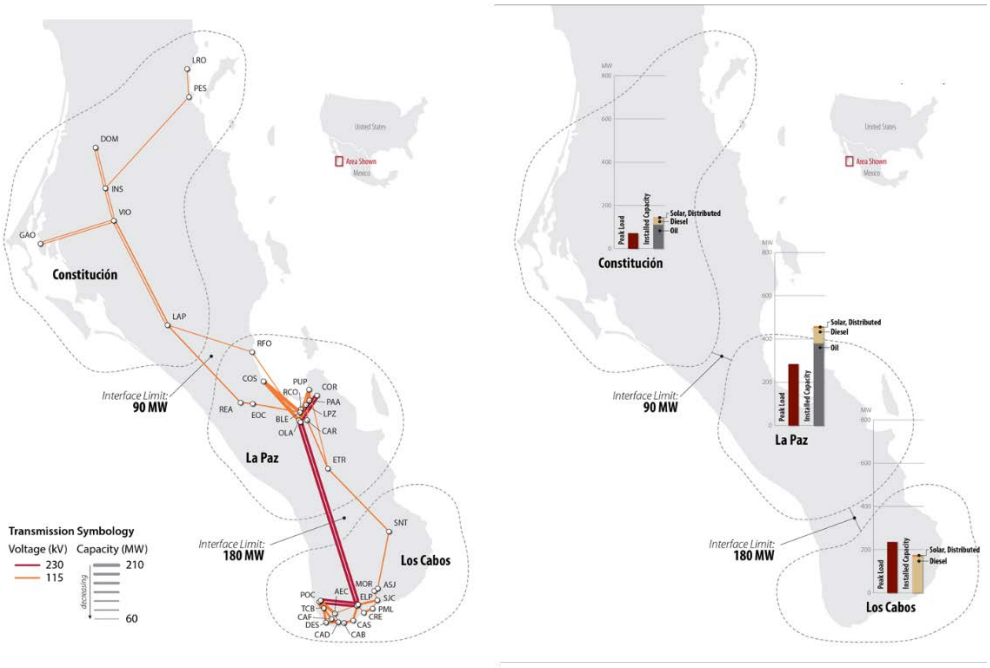
CUADRO 3. 2. PLANTAS DE GENERACIÓN TÉRMICA CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO
(MW)

Generación Diésel		Generación con Combustóleo	
Ubicación	Capacidad (MW)	Ubicación	Capacidad (MW)
La Paz	26.0	La Paz	37.0
La Paz	18.0	La Paz	41.9
La Paz	25.0	La Paz	41.9
Los Cabos	30.0	La Paz	41.9
Los Cabos	23.7	La Paz	41.9
Los Cabos	27.0	La Paz	41.9
Los Cabos	26.0	Constitución	32.0
Los Cabos	26.0	Constitución	32.0
Los Cabos	26.0	Constitución	41.1
Constitución	30.0	La Paz	37.5
-	-	La Paz	37.5
-	-	La Paz	37.5
Total	257.7	Total	464.1

Fuente: Elaborado por NREL con información de la Subgerencia de Control La Paz de CENACE.

La Figura 3.7 muestra el sistema eléctrico de Baja California Sur, así como los generadores térmicos y la generación solar fotovoltaica bajo esquemas de generación distribuida, comunes a todos los escenarios.

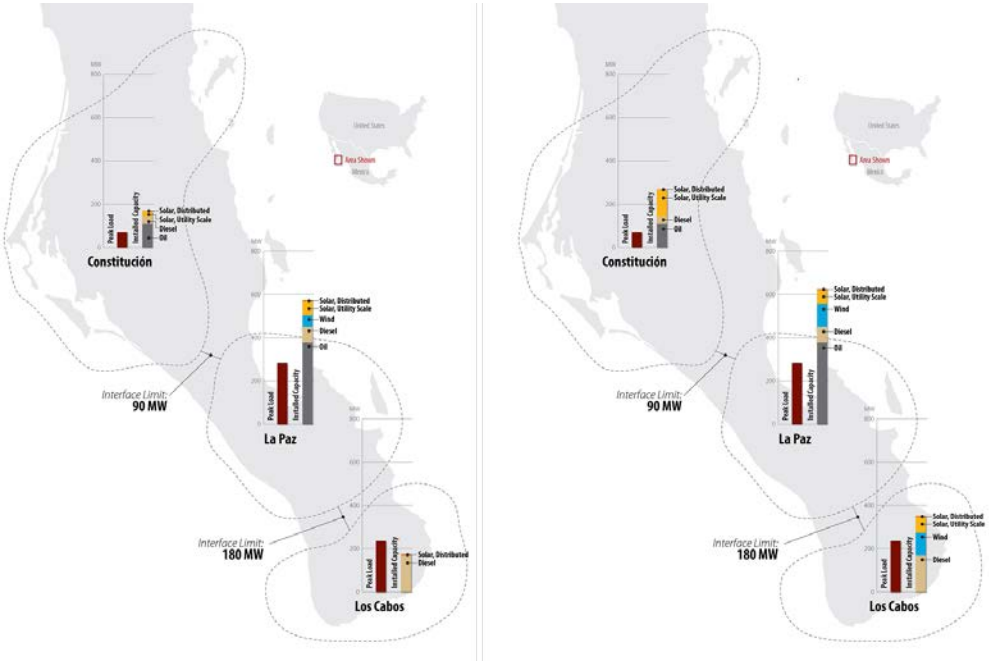
FIGURA 3. 7. RED DE TRANSMISIÓN Y GENERACIÓN TÉRMICA Y SOLAR BAJO ESQUEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN COMÚN A TODOS LOS ESCENARIOS



Fuente: Elaborado por NREL.

La Figura 3.8 muestra mapas detallados de los escenarios con participación de energías renovables de 9.5% y 32.5%.

FIGURA 3. 8. ESCENARIOS CON PARTICIPACIONES DE ENERGÍA RENOVABLE EN BCS: 9.5% Y 32.5%



Fuente: Elaborado por NREL.

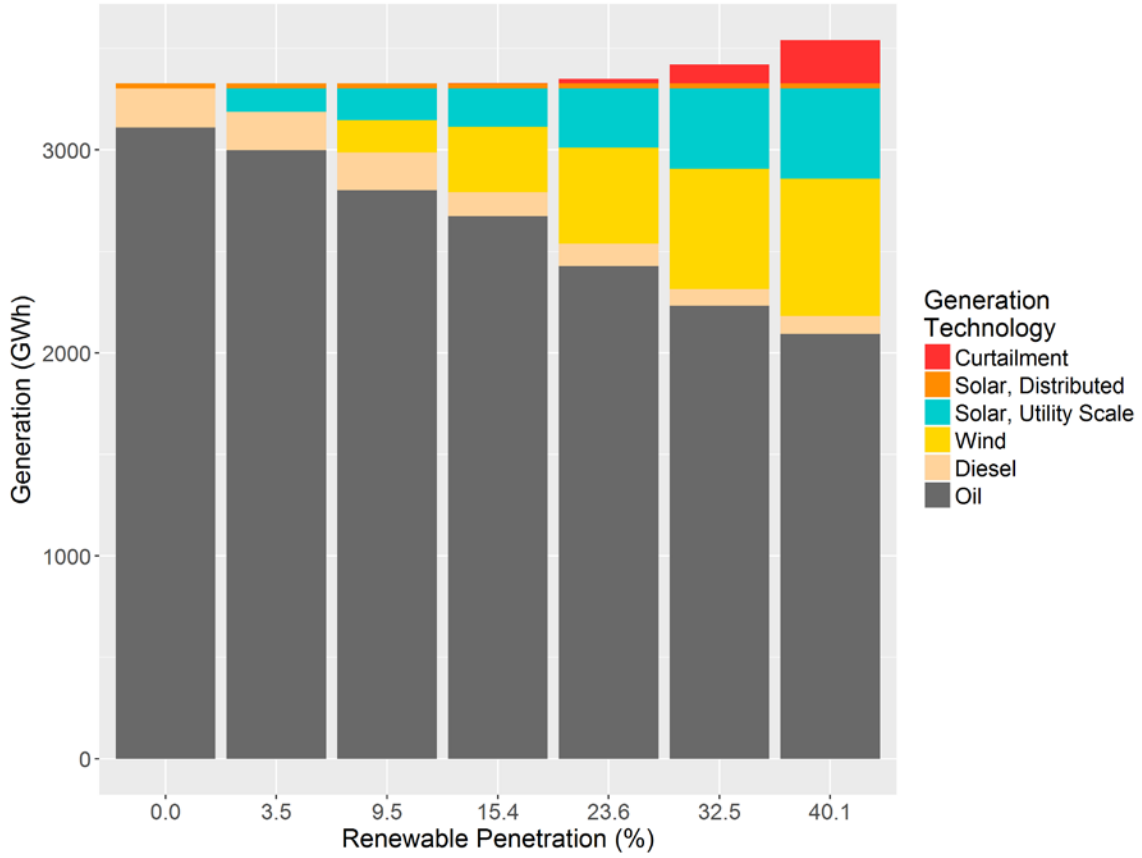
3.2.4. Resumen de resultados y conclusiones del estudio

Desde el enfoque de un estudio de costos de producción, los resultados sugieren que hacia el año 2024, el sistema aislado de BCS (sin considerar la interconexión planeada con el SIN) sería capaz de abastecer la demanda y cumplir con los requisitos de reserva operativa durante todas las horas del año bajo diferentes escenarios con participaciones crecientes de energía eólica y solar conectadas a la red de transmisión.

Los impactos de una mayor participación de la energía eólica y solar en la operación del sistema eléctrico se pueden observar en la Figura 3.9, los cuales incluyen, entre otros: la reducción de la generación de energía eléctrica a partir de combustóleo y diésel, el aumento del número de arranques de máquinas térmicas, la reducción de los costos totales variables de operación del sistema, la reducción de emisiones de CO_2 y el aumento de los recortes necesarios a la energía eólica y solar.

En el caso de la disminución en la generación eléctrica por combustóleo se reduce entre el 3.56% y el 32.65%, en un escenario con una participación de renovables del 3.5% y 40.1% de la generación total respectivamente. Con respecto a la generación a base de diésel se reduce entre el 2.59% y el 54.92%, en un escenario con una participación de renovables del 3.5% y 40.1% de la generación total, respectivamente.

FIGURA 3. 9. IMPACTOS DE NIVELES CRECIENTES DE PARTICIPACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BCS



Fuente: Elaborado por NREL.

La integración de energías renovables en el sistema aislado de BCS reduce significativamente los costos totales variables de operación. Estos corresponden a la suma de los costos de combustible, los costos variables de operación y mantenimiento de los generadores y los costos de arranque de los generadores térmicos. Estos últimos aumentan con participaciones crecientes de energía eólica y solar, pero corresponden a un porcentaje muy pequeño de los costos totales variables de operación del sistema.

A mayores niveles de participación de energías renovables, la reducción en los costos totales variables de operación disminuye debido, principalmente, al aumento de la necesidad de recortar la generación solar y eólica. Este recorte de generación, conocido como "curtailment", se produce cuando la generación renovable es superior al consumo de energía y, por ende, no puede ser almacenada o absorbida por el sistema eléctrico. Por ejemplo, una participación renovable del 15.4% reduce los costos totales variables de operación en 20.4%, en cambio una participación del 40.1% reduce los costos solo en 37.9%. Esto se debe a que los recortes de generación necesarios para mantener el balance entre oferta y consumo de energía eléctrica harán necesario reducir la generación proveniente de la energía solar y eólica a una participación de únicamente el 33.7% del total de la generación. Por esta razón el nivel óptimo de aprovechamiento de la energía es aquel en el cual no ocurren recortes (curtailment). De manera similar a los costos totales variables de operación, la reducción de emisiones de CO_2 disminuye con mayores participaciones de energía eólica y solar

Estos resultados muestran también que la operación del sistema eléctrico de Baja California Sur con una participación renovable del 32.5% requeriría recortar la energía eólica y solar en 8.5%, reduciendo la participación neta al 29.7%. El recorte de energía renovable crece exponencialmente con mayores niveles de

participación. Con una participación del 23.6%, el recorte sería sólo del 2.7%, mientras que con una participación del 40.1% el recorte sería del 16%. Con estos niveles, el recorte de energía supone solamente un pequeño porcentaje de la generación anual. Además, si se permitiera a los generadores eólicos y solares participar en las reservas éstos se beneficiarían, así como el sistema en general debido a una reducción en los costos variables de operación.

3.2.5. Consideraciones adicionales

Este estudio no analiza los retos operacionales sub-horarios, pero sí considera restricciones operacionales definidas por CENACE, por ejemplo, la restricción de limitar la participación instantánea de energía renovable al 50% de la demanda eléctrica instantánea, para asegurar que el sistema opere dentro de unos límites que aseguren su confiabilidad. En el futuro, un estudio de simulaciones dinámicas podría ser muy útil para evaluar cómo se comportaría el sistema con una alta participación de energías eólica y solar tras una falla de gran impacto. Además, estudiar la estabilidad y la repuesta de frecuencia con altos niveles de participación de energía eólica y solar sería muy valioso para determinar en qué casos la restricción del 50% de participación instantánea es suficiente o necesaria.

Un estudio sobre el impacto de diferentes requisitos de reserva operativa en costos de producción y confiabilidad del sistema sería muy útil para evaluar los requisitos de interconexión para generadores con energías renovables, por ejemplo, el requisito de instalar almacenamiento a baterías de 15 minutos, equivalente a un porcentaje de la capacidad instalada de la planta eólica o solar.

Como parte del Programa de Expansión de la Red Nacional de Transmisión y Distribución incluido en el PRODESEN 2017 – 2031, se tiene planeada la instalación de un cable submarino que conecte el sistema eléctrico de Baja California Sur con el SIN. Esta interconexión conllevará a una reducción en los costos totales variables de operación. Además, también será útil para la integración de la energía eólica y solar en el sistema eléctrico de BCS, reduciendo la necesidad de recortar las energías renovables, entre otros impactos positivos en el sistema. En el futuro sería interesante evaluar los retos y las soluciones para la integración de energías renovables en BCS teniendo en cuenta la interconexión con el SIN.

3.3. Estudio de integración de energías renovables en Norteamérica para alcanzar la meta en 2025

El objetivo del Estudio de Integración de Energías Renovables en Norteamérica (NARIS, por sus siglas en inglés) es aportar elementos a las entidades encargadas de realizar la planeación de los sistemas eléctricos, a los operadores del sistema, a las agencias gubernamentales, legisladores y reguladores sobre los retos y oportunidades de una mayor participación de la energía eléctrica generada mediante centrales eólicas, solares e hidroeléctricas en Norteamérica, así como las herramientas necesarias para llevar a cabo esta integración de la manera más eficiente posible.

Asimismo, este estudio de integración permitirá un entendimiento más profundo sobre cuál es la participación de las energías renovables que se puede integrar de forma confiable en la red, bajo qué escenarios de infraestructura de transmisión, así como qué cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero pueden ser reducidas y a qué costo.

3.3.1. Antecedentes

Durante la Octava Cumbre de Líderes de América del Norte (CLAN), celebrada en junio de 2016 en Ottawa, Canadá, los presidentes de México, Enrique Peña Nieto, y de Estados Unidos, Barack Obama, así como el Primer Ministro de Canadá, Justin Trudeau, anunciaron la meta de aumentar en la región la generación de energía eléctrica con fuentes de energía limpia hasta alcanzar 50% en el año 2025.

Al término de la CLAN, se anunció el Plan de Acción de América del Norte sobre la Alianza del Clima, Energía Limpia y Medio Ambiente. En materia de energía limpia y segura destacan los siguientes compromisos:[26]

- La meta regional de energías limpias se alcanzará mediante el uso de energías renovables, nuclear, y tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, así como a través de medidas de eficiencia energética, considerando que las acciones llevadas a cabo de manera individual serán de conformidad con sus condiciones, marcos legales específicos y metas nacionales de energía limpia.

- Apoyar el desarrollo de proyectos de transmisión transfronteriza, incluyendo energía eléctrica renovable. Los tres países reconocen el importante papel que las líneas de transmisión transfronterizas pueden jugar en limpiar e incrementar la confiabilidad y flexibilidad del sistema eléctrico de la región.

Desarrollar el Estudio de Integración de Energías Renovables en Norteamérica (NARIS, por sus siglas en inglés) para analizar coordinadamente la planeación y los impactos operativos bajo un escenario que considere una alta integración de energías renovables en la región.

3.3.2. Generación de energía eléctrica con energías limpias en Norteamérica

Con base en la información disponible en el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN 2016 – 2030), publicado por la SENER, y en la información estadística de la Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA, por sus siglas en inglés) y del Ministerio de Recursos Naturales de Canadá (NRCan, por sus siglas en inglés), el cuadro 3.3 muestra la participación de las energías limpias en la generación de energía eléctrica de manera individual en México, Estados Unidos y Canadá, y en la región de Norteamérica en el año 2015.

26 Para mayor detalle consulte la página: https://www.gob.mx/presidencia/documentos/clan2016-plan-de-accion-de-america-del-norte-sobre-la-alianza-del-clima-energia-limpia-y-medio-ambiente?idiom=es

CUADRO 3. 3. PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS LIMPIAS EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA REGIÓN DE NORTEAMÉRICA, 2015

		Canadá	México	EEUU	Región
2015	Generación total (TWh/año)	639.0	309.5	4,087.0	5,035.5
	Generación limpia (TWh/año)	514.4	63.0	1,348.0	1,925.4
	Energía limpia %	80.5%	20.3%	32.9%	
	Participación de cada país en el total de Energía limpia en la región %	26.7%	3.3%	70.0%	38.2%

Fuente: Elaboración propia con información de SENER, EIA y NRCan.

En el año 2015, la mayor participación de energías limpias para la generación de energía eléctrica en la región de Norteamérica se registró en Canadá, con 80.5% del total generado en ese país, seguido por Estados Unidos y México con 32.9% y 20.3%, respectivamente. De manera colectiva, la generación de energía eléctrica a partir de energías limpias en Norteamérica se ubicó en 38.2% al cierre del mismo año. Estados Unidos es el país que contribuye mayormente a la participación de energías limpias en la región con 70% de toda la energía eléctrica generada que se contabilizó en los tres países. Canadá y México representaron 26.7% y 3.3%, respectivamente.

3.3.3. Siguientes pasos del Estudio de Integración de Energías Renovables en Norteamérica

El alcance del estudio se desarrollará en 36 meses y será realizado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés)[27]. El estudio cuenta con recursos de alrededor de 8 millones de dólares, de los cuales dos millones serán aportados por la Secretaría de Energía de México (SENER), a través del Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER, y el resto por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (US DoE, por sus siglas en inglés) y el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá (NRCan, por sus siglas en inglés).

La reunión de arranque del estudio se realizó en octubre de 2016, y a la fecha, el Comité Técnico de Revisión de NARIS (TRC, por sus siglas en inglés), el cual se encuentra integrado por representantes del sector público, privado, y de la academia de los tres países, se ha reunido para revisar los avances del proyecto en una ocasión en Estados Unidos y otra en México, en el Marco de los Diálogos para el Futuro de la Energía México 2017 (DEMEX).

Durante el 2018 se tiene previsto presentar los primeros resultados de los escenarios de participación de las energías renovables en los sistemas eléctricos, de forma individual para cada país y también como región. Hacia el último año de la elaboración del estudio (2019), se contempla la presentación de los resultados finales, así como recomendaciones a cada uno de los tres países.

27 Para mayor detalle consulte la página: https://www.nrel.gov/analysis/naris.html

3.4. Beneficios de la Generación Limpia Distribuida

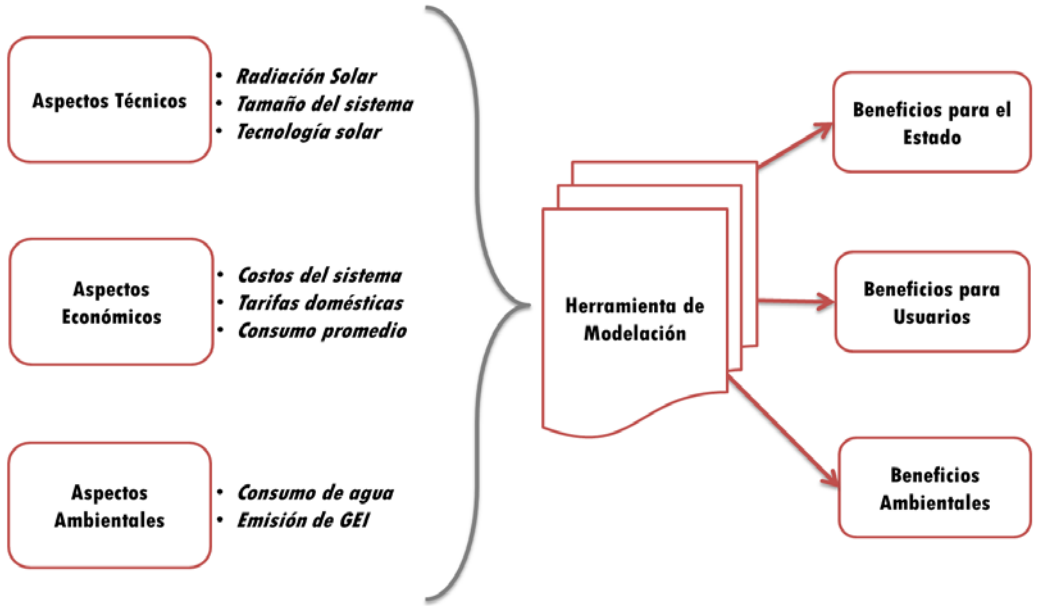
Con el objetivo de analizar los beneficios de la generación distribuida en México, se llevaron a cabo dos análisis de la implementación de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial. El primero, se enfocó en un análisis costo – beneficio, y el segundo en un análisis desde la teoría económica que considera el cambio en el bienestar económico y social. A continuación, se presenta un breve resumen con los principales elementos y resultados obtenidos en cada uno de los citados estudios.

3.4.1. Primer análisis de beneficios de la implementación de la energía solar en México

El primer análisis consistió en la identificación de los beneficios económicos y ambientales de la implementación de la energía solar en México bajo esquemas de generación distribuida[28]. El estudio se hizo en cumplimiento del artículo Décimo Octavo Transitorio de la LTE, y mediante el uso del modelo System Advisory Model (SAM, por sus siglas en inglés), desarrollado por NREL.

El modelo SAM incorpora una base de datos con radiación solar geo-referenciada, lo cual permite estimar cada hora y durante todo un año la generación de energía eléctrica entregada por un Sistema Fotovoltaico (SFV). El universo potencial de usuarios domésticos en México es de aproximadamente 35 millones de hogares, quienes presentan diferentes características y patrones de consumo de energía eléctrica. Para simplificar el análisis se usaron valores promedio o representativos de las diferentes zonas de distribución de la CFE, utilizando datos del 2014 y 2015, como se muestra en la figura a continuación.

FIGURA 3. 10. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL ANÁLISIS DE BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO[29]



Fuente: SENER.

[28] La generación distribuida en México se refiere a la energía eléctrica generada en una central de menos de 500 kW y que se encuentra interconectada a un circuito de distribución. Asimismo, la generación limpia distribuida es aquella que además se realiza a partir de energías limpias.

[29] Para mayor detalle consulte la página: https://www.gob.mx/sener/documentos/beneficios-de-la-generacion-limpia-distribuida-y-la-eficiencia-energetica-en-mexico

Los resultados de este análisis sugieren que una capacidad instalada de SFV en el sector doméstico, equivalente al 1% del total del SEN, permitiría al Estado obtener ahorros de 1,500 millones de pesos al año en las aportaciones gubernamentales que otorga a los usuarios, a través de las tarifas de energía eléctrica en el sector residencial en el periodo de estudio.

Asimismo, permitiría reducir 1.3 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) y de 961 millones de litros de agua al año, asociados a la generación centralizada con combustibles fósiles.

De forma individual, los usuarios del sector residencial obtendrían ahorros en el consumo de energía eléctrica del orden de 75% de la energía que un usuario promedio utiliza de la red de suministro de la CFE al año.

FIGURA 3. 11. RESUMEN DE BENEFICIOS ESPERADOS POR LA ADOPCIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR BAJO ESQUEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Fuente: SENER.

No obstante, es necesario mejorar la rentabilidad de la implementación de los SFV desde la perspectiva de los usuarios, ya que el periodo de recuperación de la inversión varía entre 15 y 21 años, valor todavía muy alto para asumir que el propio mercado sería suficiente para acelerar su adopción en el corto y mediano plazo.

Es por esta razón que se requerirá de nuevas políticas públicas que impulsen mecanismos de apoyo y/o estímulos económicos en donde el Estado pueda compartir sus beneficios con los usuarios y así fomentar la inversión en los SFV. Una política pública bien sustentada, puede significar un puente entre los beneficios para el Estado y para los usuarios. De no ser así, su penetración en el mercado será muy lenta, y los beneficios ambientales y sociales no podrán observarse en el corto y mediano plazo.

3.4.2. Análisis del bienestar social de la implementación de la energía solar distribuida (GSD) en México

En el marco de la asistencia técnica brindada a México a través del 21CPP, y con el apoyo de CIFF y de la Iniciativa Climática de México (ICM), el Centro de Investigación y Docencias Económicas (CIDE) realizó un análisis para identificar las posibilidades, los beneficios y los desafíos de la implementación de un programa nacional para apoyar la adopción de la energía solar en México bajo esquemas de generación solar distribuida (GSD). Este trabajo tuvo como objetivo principal fortalecer y complementar los resultados obtenidos en el primer análisis de beneficios, presentado en la sección anterior.

El análisis realizado por el CIDE[30] toma como base la información contenida en la edición 2014 de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares en México (ENIGH), publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para determinar cuáles son los grupos de usuarios en el sector residencial que pueden instalar sistemas fotovoltaicos en sus hogares. Posteriormente, se utilizó un modelo econométrico para representar el comportamiento de un usuario al momento de tomar una decisión sobre instalar un sistema fotovoltaico en su hogar o seguir recibiendo la energía eléctrica a través de la red de suministro. Finalmente, se obtuvieron los cambios, separando la variación en el bienestar económico en cuatro partes: 1) cambio en el bienestar de los consumidores; 2) cambio en el excedente de los productores, tanto para la industria de energía eléctrica como para la industria de celdas fotovoltaicas (FV); 3) variación de los ingresos gubernamentales provenientes de subsidios e impuestos asociados al consumo de electricidad y a la compra final de paneles solares, y por último, 4) variación en el daño ambiental.

Como resultado del análisis, se obtuvo que el número máximo de usuarios potenciales que podrían adoptar GSD asciende a unos 15 millones de hogares, lo cual se traduce en un consumo de 24.5 millones de mega watts-hora al año. Así, sin considerar fuentes de financiamiento para dicha inversión, los hogares afrontarían un primer periodo de fuerte impacto negativo en su bienestar, derivado del desembolso inicial[31] para adquirir y poner en funcionamiento los paneles solares. Sin embargo, durante los años subsiguientes se recuperaría paulatinamente el desembolso inicial a través del ahorro de consumo eléctrico que actualmente es provisto por la red.

El beneficio promedio obtenido en ese periodo de 25 años[32] sería de aproximadamente $2,000 anuales. Los usuarios DAC serían los más beneficiados ya que, en promedio, cada hogar de esta categoría obtendría un beneficio de más de $13,000 anuales. En el otro extremo, los hogares con tarifas 1E y 1F no obtendrían mayor beneficio y, por ende, no tendrían casi incentivos en adoptar GSD. Los hogares tardarían alrededor de 17 años en recuperar su inversión. Sin embargo, a los usuarios DAC sólo les tomaría unos 5 años.

Del lado del productor, la instalación de las celdas fotovoltaicas tendría un impacto directo en el productor de energía convencional (Comisión Federal de Electricidad) y múltiples impactos en la industria de paneles fotovoltaicos. Asumiendo que los usuarios instalarían la GSD para cubrir el 100% de su consumo doméstico, la CFE reduciría sus ventas en unos 24.5 mil de GWh anuales. En un escenario en el cual el productor de electricidad venda su energía al menos al costo medio, éste recibiría un ingreso aproximado de $145 mil millones de pesos mexicanos anuales por los casi 56 mil giga watt-hora que actualmente despacha. Si los 15 millones de hogares antes mencionados instalaran GSD, dicha situación haría que las ventas del productor de energía convencional se redujeran a sólo 31.5 GWh anuales. En dicho caso, la CFE podría modificar su producción para usar menos aquellos generadores que implican mayores costos y concentrarse así en los más eficientes.

Del lado de la industria fotovoltaica, ésta se beneficiaría por la libre competencia y sus mayores ganancias se reflejarían durante el plazo en que se dé la mayor parte de la inversión en las instalaciones de techos solares por parte de los hogares. La industria debería producir (o importar) alrededor de 62 millones de unidades de

[30] Un reporte con los resultados de este análisis serán publicados en breve por la SENER.
[31] Si estos hogares instalaran el sistema de paneles solares, cada hogar en promedio debería afrontar una inversión inicial de $35,000 pesos mexicanos por cada kilo watt instalado. La vida útil estimada de la inversión en GSD es de 25 años.
[32] El costo de operación y mantenimiento anual rondaría los $70 pesos por cada kilo watt.

250 watts (o de forma equivalente 15.5 mil mega watts) durante el período de adopción. Actualmente, México es un país que busca competir en similares industrias fotovoltaicas en países como China o Alemania. En ese contexto, el país solo generaría el 20% de los empleos y la inversión necesaria (mayormente en las tareas de instalación, reparación y mantenimiento).

Así, descontando los paneles e insumos importados, se generarían alrededor de 12,500 empleos (incluyendo aquellos de las empresas ya establecidas), y una inversión total en capital de $2,500 millones de pesos. En cuanto a los indicadores de distribución e instalación (lo cual incluye los instaladores, personal de ventas y administrativos, entre otros), la instalación en cada hogar requería aproximadamente de dos personas diarias ocupadas en jornadas de 8 horas, por lo que se generarían alrededor de 3,200 empleos (incluyendo aquellos de las empresas ya establecidas), y $110 millones de pesos de inversión en capital.

Finalmente, en cuanto a los efectos ambientales, los ahorros serían significativos: 70 mil toneladas de SO_2, 46 mil toneladas de NO_x, 12 millones de toneladas de CO_2, y más de 13 millones de metros cúbicos de agua evitados. Asumiendo un valor de $200 pesos por tonelada de CO_2 equivalente (un valor similar al registrado en el mercado de California para el periodo 2016-17) y de $56 pesos por metro cúbico de agua (estimaciones surgidas de CONAGUA para año 2016), el ahorro en términos ambientales debido a la instalación de los sistemas fotovoltaicos sería de aproximadamente 3,400 millones de pesos anuales.

ANEXO ESTADÍSTICO

CUADRO A. 1. CENTRALES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA 2016

((MW, GWh)

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema[1/]	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta[2/] (GWh)
1	Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Planta Orizaba	VER	02-Oriental	AUT	10	14
2	Compañía de Energía Mexicana	PUE	02-Oriental	AUT	36	235
3	Compañía Eléctrica Carolina	GTO	03-Occidental	AUT	2	5
4	Electricidad del Golfo	VER	02-Oriental	AUT	35	106
5	Energía EP	PUE	02-Oriental	AUT	0	1
6	Generadora Eléctrica San Rafael	NAY	03-Occidental	AUT	29	96
7	Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo	MICH	03-Occidental	AUT	4	15
8	Hidroeléctrica Arco Iris	JAL	03-Occidental	AUT	8	47
9	Hidroeléctrica Cajón de Peña	JAL	03-Occidental	AUT	1	7
10	Hidroelectricidad del Pacífico	JAL	03-Occidental	AUT	9	28
11	Hidrorizaba	VER	02-Oriental	AUT	2	9
12	Hidrorizaba II	VER	02-Oriental	AUT	4	19
13	Ingenio Tamazula, Planta Santa Cruz	JAL	03-Occidental	AUT	1	1
14	Mexicana de Hidroelectricidad Mexhidro	GRO	02-Oriental	AUT	30	136
15	Papelera Veracruzana	VER	02-Oriental	AUT	1	6
16	Primero Empresa Minera	DGO	05-Norte	AUT	20	58
17	Procesamiento Energético Mexicano	VER	02-Oriental	AUT	11	51
18	Proveedora de Electricidad de Occidente	JAL	03-Occidental	AUT	19	50
19	Zagis	VER	02-Oriental	AUT	2	11
20	Generadora Fénix, Alameda	MEX	01-Central	GEN	7	5
21	Generadora Fénix, Lerma (Tepuxtepec)	MICH	01-Central	GEN	57	229
22	Generadora Fénix, Necaxa	PUE	01-Central	GEN	109	395
23	Generadora Fénix, Patla	PUE	01-Central	GEN	45	139
24	Generadora Fénix, Tepexic	PUE	01-Central	GEN	45	99
25	Agua Prieta (Valentín Gómez Farías)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	240	241
26	Aguamilpa Solidaridad	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	960	1,998
27	Angostura (Belisario Domínguez)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	900	2,030
28	Bacurato	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	92	266
29	Bartolinas	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	0.8	2

30	Bombaná	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	5	23
31	Boquilla	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	25	82
32	Botello	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	18	67
33	Caracol (Carlos Ramírez Ulloa)	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	600	1,262
34	Chicoasén (Manuel Moreno Torres)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	2,400	4,513
35	Chilapan	VER	02-Oriental	GEN-CFE	26	112
36	Cóbano	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	60	269
37	Colimilla	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	51	88
38	Colina	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	3	9
39	Colotlipa	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	8	33
40	Comedero (Raúl J. Marsal)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	100	342
41	Cupatitzio	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	80	467
42	El Cajón (Leonardo Rodríguez Al.)	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	750	1,149
43	El Fuerte (27 de Septiembre)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	59	366
44	El Novillo (Plutarco Elías Calles)	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	135	531
45	El Retiro (José Cecilio del Valle)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	21	80
46	El Salto (Camilo Arriaga)	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	18	87
47	Electroquímica	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	1	10
48	Encanto	VER	02-Oriental	GEN-CFE	10	17
49	Falcón	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	32	57
50	Huites (Luis Donaldo Colosio)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	422	1,062
51	Humaya	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	90	267
52	Infiernillo	GRO	01-Central	GEN-CFE	1,200	2,813
53	Intermedia (Luis M. Rojas)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	5	14
54	Itzícuaro	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	1	2
55	Ixtaczoquitlán	VER	02-Oriental	GEN-CFE	2	13
56	Jumatán	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	2	13
57	La Amistad	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	66	49
58	La Venta (Ambrosio Figueroa)	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	ND	1
59	La Yesca (Alfredo Elias Ayub)	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	750	1,059
60	Malpaso	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	1,080	2,477
61	Mazatepec	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	220	593
62	Micos	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	1	3
63	Minas	VER	02-Oriental	GEN-CFE	15	85
64	Mocúzari	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	10	49
65	Oviachic	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	19	119

66	Peñitas (Ángel Albino Corzo)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	420	1,309
67	Platanal	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	13	41
68	Portezuelo I	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	2	9
69	Portezuelo II	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	2	4
70	Puente Grande	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	9	34
71	San Pedro Porúas	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	3	5
72	Sanalona (Salvador Alvarado)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	14	71
73	Santa Bárbara	MEX	01-Central	GEN-CFE	23	33
74	Santa Rosa (General Manuel M. Diéguez)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	70	277
75	Schpoiná	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	2	8
76	Tamazulapan	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	2	6
77	Temascal y Ampliación Temascal	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	354	1,214
78	Texolo	VER	02-Oriental	GEN-CFE	2	12
79	Tingambato	MEX	01-Central	GEN-CFE	42	85
80	Tirio	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	1	3
81	Tuxpango	VER	02-Oriental	GEN-CFE	36	131
82	Villita (José María Morelos)	MICH	01-Central	GEN-CFE	320	1,278
83	Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama)	HGO	03-Occidental	GEN-CFE	292	1,848
84	Zumpimito	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	8	51
85	Hidroeléctrica Trigomil	JAL	03-Occidental	P.P.	8	8
				Total[3/]	**12,589**	**30,909**

1/ AUT: Autoabastecimiento; GEN: Generación; GEN-CFE: Comisión Federal de Electricidad Generación; PP: Pequeña Producción. 2/ Incluye la generación reportada por la central La Venta (Ambrosio Figueroa) que al cierre de 2016 se encontraba en baja temporal. 3/ Los totales pueden no coincidir por redondeo. Información preliminar al cierre de 2016.
Fuente: Elaborado por la SENER con información de la CFE, la CRE y el CENACE.

CUADRO A. 2. CENTRALES DE GENERACIÓN EOLOELÉCTRICA 2016

(MW, GWh)

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema[1/]	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta[2/] (GWh)
1	Bii Nee Stipa Energía Eólica	OAX	02-Oriental	AUT	26	91
2	Compañía Eólica de Tamaulipas	TAMS	06-Noreste	AUT	54	169
3	Compañía Eoloeléctrica de Ciudad Victoria	TAMS	06-Noreste	AUT	50	19
4	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 1	OAX	02-Oriental	AUT	90	304
5	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 2, Piedra Larga Fase 2	OAX	02-Oriental	AUT	138	491
6	Dominica Energía Limpia	SLP	03-Occidental	AUT	200	489
7	Eléctrica del Valle de México	OAX	02-Oriental	AUT	68	191
8	Energía Limpia de Palo Alto	JAL	03-Occidental	AUT	129	48
9	Eoliatec del Istmo	OAX	02-Oriental	AUT	164	545
10	Eoliatec del Pacífico	OAX	02-Oriental	AUT	160	640
11	Eólica de Arriaga	CHIS	02-Oriental	AUT	32	90
12	Eólica de Coahuila	COAH	06-Noreste	AUT	201	7
13	Eólica Dos Arbolitos	OAX	02-Oriental	AUT	70	225
14	Eólica El Retiro	OAX	02-Oriental	AUT	74	143
15	Eólica Los Altos	JAL	03-Occidental	AUT	50	183
16	Eólica Santa Catarina	NL	06-Noreste	AUT	22	37
17	Eólica Tres Mesas	TAMS	06-Noreste	AUT	63	11
18	Eólica Zopiloapan	OAX	02-Oriental	AUT	70.0	261
19	Eurus, Juchitán de Zaragoza Oaxaca	OAX	02-Oriental	AUT	251	964
20	Fuerza Eólica Del Istmo	OAX	02-Oriental	AUT	80	190
21	Fuerza y Energía Bii Hioxo	OAX	02-Oriental	AUT	234	802
22	Municipio de Mexicali	BC	08-Baja California	AUT	10	24
23	Parques Ecológicos de México	OAX	02-Oriental	AUT	102	250
24	PE Ingenio	OAX	02-Oriental	AUT	50	184
25	Pier II Quecholac Felipe Ángeles	PUE	02-Oriental	AUT	66	253
26	Stipa Nayaa	OAX	02-Oriental	AUT	74	279
27	Ventika	NL	06-Noreste	AUT	126	333
28	Ventika II	NL	06-Noreste	AUT	126	357
29	Vientos del Altiplano	ZAC	06-Noreste	AUT	100	40
30	Energía Sierra Juárez	BC	08-Baja California	EXP	156	377
31	La Venta I-II	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	84	185
32	Puerto Viejo (Guerrero Negro)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	1	0
33	Yuumil´iik	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	2	2

34	Energía Sonora PPE	SON	04-Noroeste	P.P.	2	4
35	Instituto de Investigaciones Electricas	OAX	02-Oriental	P.P.	0	0
36	CE Oaxaca Cuatro, Oaxaca IV	OAX	02-Oriental	PIE	102	469
37	CE Oaxaca Dos, Oaxaca II	OAX	02-Oriental	PIE	102	420
38	CE Oaxaca Tres, Oaxaca III	OAX	02-Oriental	PIE	102	371
39	Energías Ambientales de Oaxaca, Oaxaca I	OAX	02-Oriental	PIE	102	317
40	Energías Renovables La Mata, La Mata (Sureste I fase II)	OAX	02-Oriental	PIE	102	398
41	Energías Renovables Venta III, La Venta III	OAX	02-Oriental	PIE	103	299
				Total[3/]	**3,735**	**10,463**

1/ AUT: Autoabastecimiento; GEN: Generación; GEN-CFE: Comisión Federal de Electricidad Generación; PP: Pequeña Producción. 2/ Incluye la generación reportada por la central La Venta (Ambrosio Figueroa) que al cierre de 2016 se encontraba en baja temporal. 3/ Los totales pueden no coincidir por redondeo. Información preliminar al cierre de 2016.
Fuente: Elaborado por la SENER con información de la CFE, la CRE y el CENACE.

CUADRO A. 3. CENTRALES DE GENERACIÓN GEOTÉRMICA 2016

(MW, GWh)

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema[1/]	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta[2/] (GWh)
1	Geotérmica para el Desarrollo, Domo de San Pedro	NAY	03-Occidental	AUT	35	115
2	Cerro Prieto I	BC	08-Baja California	GEN-CFE	30	241
3	Cerro Prieto II	BC	08-Baja California	GEN-CFE	220	1,536
4	Cerro Prieto III	BC	08-Baja California	GEN-CFE	220	1,098
5	Cerro Prieto IV	BC	08-Baja California	GEN-CFE	100	797
6	Los Azufres	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	225	1,801
7	Los Humeros	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	69	508
8	Tres Vírgenes	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	10	54
				Total[3/]	**909**	**6,148**

1/ AUT: Autoabastecimiento; GEN: Generación; GEN-CFE: Comisión Federal de Electricidad Generación; PP: Pequeña Producción. 2/ Incluye la generación reportada por la central La Venta (Ambrosio Figueroa) que al cierre de 2016 se encontraba en baja temporal. 3/ Los totales pueden no coincidir por redondeo. Información preliminar al cierre de 2016.
Fuente: Elaborado por la SENER con información de la CFE, la CRE y el CENACE.

CUADRO A. 4. CENTRALES DE GENERACIÓN SOLAR 2016

(MW, GWh)

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema[1/]	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta[2/] (GWh)
1	Autoabastecimiento Renovable	AGS	03-Occidental	AUT	1	3
2	Coppel	SON	04-Noroeste	AUT	1	1
3	Generadora Solar Apaseo	GTO	03-Occidental	AUT	1	0
4	Iusasol 1	MEX	01-Central	AUT	18	39
5	Iusasol Base	MEX	01-Central	AUT	1	1
6	Oomapas Nogales	SON	04-Noroeste	AUT	1	0
7	Plamex	BC	08-Baja California	AUT	1	2
8	Los Santos Solar I	CHIH	05-Norte	AUT	20	-
9	Productora Yoreme	SON	04-Noroeste	GEN	1	0
10	Cerro Prieto	BC	08-Baja California	GEN-CFE	5	10
11	Sta. Rosalía (Tres Vírgenes)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	1	2
12	Servicios Comerciales de Energía	BCS	09-Baja California Sur	P.P.	30	18
13	Tai Durango Cinco	DGO	05-Norte	P.P.	30	39
14	Tai Durango Cuatro	DGO	05-Norte	P.P.	6	8
15	Tai Durango Dos	DGO	05-Norte	P.P.	6	8
16	Tai Durango Tres	DGO	05-Norte	P.P.	6	5
17	Tai Durango Uno	DGO	05-Norte	P.P.	16	24
Total[2/]					**145**	**160**

1/ AUT: Autoabastecimiento; GEN: Generación; GEN-CFE: Comisión Federal de Electricidad Generación; P.P: Pequeña Producción. 2/ Incluye la generación reportada por centrales eléctricas en fase de pruebas. 3/ Los totales pueden no coincidir por redondeo. Información preliminar al cierre de 2016.
Fuente: Elaborado por la SENER con información de la CFE, la CRE y el CENACE.

CUADRO A. 5. CENTRALES DE GENERACIÓN CON BIOENERGÍA

(MW, GWh)

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema[1/]	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta[2/] (GWh)
1	Azsuremex	TAB	02-Oriental	AUT	3	3
2	BSM Energía de Veracruz	VER	02-Oriental	AUT	13	28
3	Compañía Azucarera de Los Mochis	SIN	04-Noroeste	AUT	14	17
4	Compañía Azucarera del Río Guayalejo	TAMS	06-Noreste	AUT	46	17
5	Compañía Azucarera La Fé	CHIS	02-Oriental	AUT	13	24
6	Cooperativa La Cruz Azul	AGS	03-Occidental	AUT	1	0
7	Ecosys III	GTO	03-Occidental	AUT	2	1
8	Empacadora San Marcos	PUE	02-Oriental	AUT	1	0
9	Energía Láctea	CHIH	05-Norte	AUT	1	0
10	Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata	MOR	01-Central	AUT	9	19
11	Fideicomiso Ingenio Plan de San Luis	SLP	06-Noreste	AUT	9	27
12	Grupo Azucarero San Pedro	VER	02-Oriental	AUT	10	33
13	Impulsora de la Cuenca del Papaloapan	VER	02-Oriental	AUT	24	53
14	Ingenio Adolfo López Mateos	OAX	02-Oriental	AUT	14	31
15	Ingenio Alianza Popular	SLP	06-Noreste	AUT	6	20
16	Ingenio El Higo	VER	06-Noreste	AUT	22	38
17	Ingenio El Mante	TAMS	06-Noreste	AUT	6	10
18	Ingenio El Molino	NAY	03-Occidental	AUT	10	14
19	Ingenio Eldorado	SIN	04-Noroeste	AUT	10	5
20	Ingenio Melchor Ocampo	JAL	03-Occidental	AUT	6	27
21	Ingenio Nuevo San Francisco	VER	02-Oriental	AUT	7	13
22	Ingenio Presidente Benito Juárez	TAB	02-Oriental	AUT	14	23
23	Ingenio San Francisco Ameca_AUT	JAL	03-Occidental	AUT	5	14
24	Ingenio San Miguelito	VER	02-Oriental	AUT	5	7
25	Ingenio San Rafael de Pucté	QR	07-Peninsular	AUT	9	40
26	Ingenio Tala	JAL	03-Occidental	AUT	12	1
27	Ingenio Tamazula	JAL	03-Occidental	AUT	10	36

28	Ingenio Tres Valles	VER	02-Oriental	AUT	12	0
29	Kimberly-Clark de México	VER	02-Oriental	AUT	10	0
30	Lorean Energy Group	COAH	06-Noreste	AUT	2	9
31	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey,Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Dulces Nombres	NL	06-Noreste	AUT	9	0
32	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey,Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Norte	NL	06-Noreste	AUT	2	0
33	Sociedad Autoabastecedora de Energía Verde de Aguascalientes	AGS	03-Occidental	AUT	3	8
34	TMQ Generación Energía Renovable	QRO	03-Occidental	AUT	1	4
35	Transformadora de Energía Eléctrica de Juárez	CHIH	05-Norte	AUT	6	27
36	Alcoholera de Zapopan	VER	02-Oriental	COG	8	7
37	Atlatec	QRO	03-Occidental	COG	1	6
38	Atlatec, Planta El Ahogado	JAL	03-Occidental	COG	3	6
39	Bio Pappel, Planta Atenquique	JAL	03-Occidental	COG	16	38
40	Bioeléctrica de Occidente	NAY	03-Occidental	COG	35	2
41	Bioenergía de Nuevo León	NL	06-Noreste	COG	17	81
42	Conservas La Costeña y Jugomex	MEX	01-Central	COG	1	8
43	Energía Renovable de Cuautla	MOR	01-Central	COG	1	0
44	GAT Energía	VER	02-Oriental	COG	45	14
45	Huixtla Energía	CHIS	02-Oriental	COG	12	27
46	Ideal Saneamiento de Saltillo	COAH	06-Noreste	COG	1	5
47	Piasa Cogeneración	VER	02-Oriental	COG	40	156
48	Tala Electric	JAL	03-Occidental	COG	25	106
49	Tampico Renewable Energy	VER	06-Noreste	COG	40	17
50	Energreen Energía PI	MEX	01-Central	GEN	1	0
51	Ingenio Lázaro Cárdenas	MICH	03-Occidental	GEN	6	10
52	Ingenio San Francisco Ameca_GEN	JAL	03-Occidental	GEN	8	3
53	Renova Atlatec	JAL	03-Occidental	GEN	11	0
54	Ener-G	DGO	05-Norte	P.P.	2	1
55	Central Motzorongo	VER	02-Oriental	U.P.C.	20	20
56	Compañía Azucarera La Concepción	VER	02-Oriental	U.P.C.	4	1
57	Compañía Industrial Azucarera	VER	02-Oriental	U.P.C.	6	13

58	Fideicomiso Ingenio Atencingo	PUE	02-Oriental	U.P.C.	15	19
59	Fideicomiso Ingenio Casasano	MOR	01-Central	U.P.C.	3	5
60	Fideicomiso Ingenio La Providencia	VER	02-Oriental	U.P.C.	7	9
61	Ingenio El Carmen	VER	02-Oriental	U.P.C.	7	7
62	Ingenio El Modelo	VER	02-Oriental	U.P.C.	9	15
63	Ingenio El Potrero	VER	02-Oriental	U.P.C.	10	22
64	Ingenio El Refugio	OAX	02-Oriental	U.P.C.	4	0
65	Ingenio La Gloria	VER	02-Oriental	U.P.C.	53	36
66	Ingenio La Margarita	OAX	02-Oriental	U.P.C.	7	28
67	Ingenio Mahuixtlán	VER	02-Oriental	U.P.C.	3	5
68	Ingenio Pánuco	VER	06-Noreste	U.P.C.	18	32
69	Ingenio Plan de Ayala	SLP	06-Noreste	U.P.C.	16	14
70	Ingenio Quesería	COL	03-Occidental	U.P.C.	6	24
71	Ingenio San José de Abajo	VER	02-Oriental	U.P.C.	8	14
72	Ingenio San Miguel del Naranjo	SLP	03-Occidental	U.P.C.	49	95
73	Ingenio San Nicolás	VER	02-Oriental	U.P.C.	14	42
74	Ingenio Santa Clara	MICH	03-Occidental	U.P.C.	9	13
75	Santa Rosalia de La Chontalpa	TAB	02-Oriental	U.P.C.	25	20
				Total[3/]	**889**	**1,471**

1/ AUT: Autoabastecimiento; COG: Cogeneración; GEN: Generación; P.P: Pequeña Producción; U.P.C: Usos Propios Continuos. 2/ Incluye la generación reportada por centrales eléctricas en fase de pruebas. 3/ Los totales pueden no coincidir por redondeo. Información preliminar al cierre de 2016.
Fuente: Elaborado por la SENER con información de la CFE, la CRE y el CENACE.

GLOSARIO

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.
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.
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.
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.
Consumo de Energía (GWh)	Total anual de ventas de energía, autoabastecimiento remoto, ventas asociadas a la reducción de pérdidas no-técnicas, importación reducción de pérdidas y usos propios
Consumo Final (GWh)	Total anual de ventas de energía eléctrica y autoabastecimiento remoto, consumidos por los usuarios finales del sector eléctrico
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).
Emisiones	Emisiones de bióxido de carbono (CO_2), bióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas, por el uso de combustibles fósiles en las unidades generadoras
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.
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.
Factor de planta	Relación entre la energía eléctrica producida por una unidad generadora y la energía posible de producir por la misma la operar a su potencia máxima durante un periodo determinado
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.
Generador	Permiso otorgado al amparo de LIE para generar electricidad en centrales eléctricas con una capacidad mayor a 0.5 MW, o bien, contrato de Participante del Mercado para representar en el MEM a estas centrales o, con autorización de la CRE, a centrales ubicadas en el extranjero.
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 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.
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.
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.
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.
Potencial de energías renovables	Corresponde a los recursos de fuentes renovables y limpias que pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica, atreves del desarrollo de proyectos de centrales eléctricas que son técnica y económicamente factibles para su ejecución
Producto interno bruto	Valor anual de la producción de bienes y servicios del país
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.
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 de generación genérico	Corresponde a posibles centrales eléctricas candidatas asignadas en las diferentes regiones de transmisión en función del potencial de generación disponible y factibilidad de desarrollo, para cumplir con las Metas de Energías Limpias y enviar señales de mercado a los desarrolladores de proyectos interesados en realizar inversiones productivas dentro del sector eléctrico, sujetos a la optimización del modelo de planeación

Proyectos de generación firme	Corresponde a los proyectos de generación que no están sujetos a la optimización del modelo de planeación, por lo que se instalaran en la fecha indicada por los Generadores, siempre y cuando cumplan los siguientes criterios: a) Contar con un Contrato de Interconexión y permiso de generación en el que se contemple la entrada en operación comercial a partir del 1 de enero de 2016 b) Que el CENACE haya instruido al Transportista o Distribuidor la celebración de un Contrato de Interconexión c) Haber concluido el estudio de instalaciones y realizando el pago de la garantía financiera, para los proyectos que optaron por el esquema individual de interconexión d) Haber realizado el pago de la garantía financiera para los proyectos que optaron por ser incluidos como parte del proceso de planeación e) Haber presentado garantía de cumplimiento, para los proyectos asignados en las Subastas de Largo Plazo, en términos
Proyectos de Generación en operación	Corresponde a las centrales eléctricas del SEN, que operaron de forma regular o iniciaron operaciones durante el 2016, de acuerdo con la información reportada por la CFE, el CENACE y la CRE
Proyectos de generación de optimización	Corresponde a los proyectos de generación que no cumplen con la categoría firme, que pueden contar o no, con permiso de generación ante la CRE, sujetos a la optimización del modelos de planeación
Red	Conjunto de elementos de transmisión, transformación y compensación, interconectados para el transporte de energía
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
Usos propios	Proporción de energía eléctrica consumida por los equipos auxiliares de las unidades generadoras
Ventas	Energía eléctrica anual facturada a los usuarios finales del sector eléctrico por sector tarifario en cada región de control

Abreviaturas, acrónimos y siglas

21CPP	Alianza de los Sistemas Eléctricos del Siglo 21 (21CPP, por sus siglas en inglés)
AUT	Autoabastecimiento
AZEL	Atlas de Zonas con Energías Limpias
BANDAS	Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales
BCS	Baja California Sur
CELs	Certificados de Energías Limpias
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CEM	Ministerial de Energías Limpias (CEM, por sus siglas en inglés)
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIDE	Centro de Investigación y Docencias Económicas
CIFF	Fundación Fondo de Inversión para la Niñez (CIFF, por sus siglas en inglés)
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CO_2	Dióxido de carbono
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DOF	Diario Oficial de la Federación
EIA	Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA, por sus siglas en inglés)
EOL	Eoloeléctrica
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GEIC	Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil
GEN	Generación
GEN-CFE	Comisión Federal de Electricidad Generación
GEO	Geotermoeléctrica
GPG	Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos
GW	Gigawatt

GWh	Gigawatt-hora
HID	Hidroeléctrica
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEL	Inventario Nacional de Energías Limpias
INEEL	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias
INPC	Índice Nacional de Precios al Consumidor
IRENA	International Renewable Energy Agency (IRENA, por sus siglas en inglés)
km-c	Kilómetro-circuito
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
LOAPF	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal
mmpcd	Millones de pies cúbicos diarios
MT	Media tensión
MVA	Megavolt ampere
MW	Megawatt
MWe	Megawatt eléctrico
MWh	Megawatt-hora
n.d.	No disponible
NARIS	Estudio de Integración de Energías Renovables en Norteamérica (NARIS, por sus siglas en inglés)
NRCan	Ministerio de Recursos Naturales de Canadá (NRCan, por sus siglas en inglés)
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NOM	Norma Oficial Mexicana
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional

PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PIB	Producto Interno Bruto
PIE	Productor Independiente de Energía
PP	Pequeña producción
RNT	Red Nacional de Transmisión
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SFV	Sistema Fotovoltaico
SIN	Sistema Interconectado Nacional
Tmca	Tasa media de crecimiento anual
TWh	Terawatt-hora
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VER	Ventanilla Única de Energías Renovables

REFERENCIAS

Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional, 2017-2031, SENER, Ciudad de México, 2017.

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018,

Renewable Energy Statics 2017, International Renewable Energy Agency (IRENA, por sus siglas en inglés), 2017.

Direcciones electrónicas de interés general y específico:

http://www.banxico.org.mx	Banco de México
http://www.cenace.gob.mx	Centro Nacional de Control de Energía
https://dgel.energia.gob.mx/atlashidro/	Atlas Hidroeléctrico
https://dgel.energia.gob.mx/azel/	Atlas de Zonas con Energías Limpias
http://inere.energia.gob.mx	Inventario Nacional de Energías Limpias
https://www.gob.mx/sener	Secretaria de Energía
http://www.nrel.gov	National Renewable Energy Laboratory

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