

# Prospectiva de Energías Renovables

2012 - 2026



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



Vivir Mejor

GOBIERNO  
FEDERAL

SENER





# Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026



México, 2012



## **Secretaría de Energía**

**Jordy Hernán Herrera Flores**  
Secretario de Energía

**Verónica Irastorza Trejo**  
Subsecretaria de Planeación y Transición Energética

**Ian Sergio Malo Bolívar**  
Subsecretario de Electricidad

**María de la Luz Ruiz Mariscal**  
Oficial Mayor

**Julio A. Valle Pereña**  
Director General de Sustentabilidad

**Héctor Escalante Lona**  
Director General de Comunicación Social

## Responsables de la elaboración de Prospectivas y contacto:

**Julio A. Valle Pereña**  
Director General de Sustentabilidad

**Hermilio O. Ortega Navarro**  
Subdirector de Análisis, Difusión y Vinculación Tecnológica

En la portada: Tecnología de concentración solar de cilindro parabólico, como la que se instala en Sonora para el proyecto CC Agua Prieta II, de la Comisión Federal de Electricidad. Fuente: *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*

Diseño de portada: Jorge Magaña Salgado (Jefe del Departamento de Diseño Gráfico) y Verónica Liliana Martínez Luna (Diseñadora Gráfica de Comunicación Social).

2012. Secretaría de Energía

## Agradecimientos

La Secretaría de Energía (SENER) agradece a la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH (cooperación alemana al desarrollo) y a ENTE (Energía, Tecnología y Educación S.A.) el apoyo en la realización de este documento. La colaboración de la GIZ se realiza en el marco del “Programa de Energía Sustentable en México”.

Además, agradecemos la participación de los organismos y áreas de las diferentes dependencias para la integración de esta prospectiva:

Agencia Internacional de Energía

Comisión Federal de Electricidad

Comisión Nacional Forestal

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

Comisión Reguladora de Energía

Dirección General Adjunta de Bioenergéticos de la Secretaría de Energía

Instituto Mexicano del Petróleo

Instituto de Investigaciones Eléctricas

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Subsecretaría de Electricidad de la Secretaría de Energía

Unidad de Asuntos Jurídicos de la Secretaría de Energía

Coordinación de Asesores de la Subsecretaría de Planeación y Transición Energética





# Índice

|   |            |
|---|------------|
| <b>Presentación</b>   | <b>15</b>  |
| <b>Introducción</b>   | <b>17</b>  |
| <b>Resumen ejecutivo</b>  | <b>19</b>  |
| <b>Capítulo 1. Panorama internacional de las fuentes de energía renovables</b>  | <b>25</b>  |
| 1.1. Antecedentes del aprovechamiento de energía renovable en el mundo  | 26         |
| 1.2. Aprovechamiento de energías renovables, 2011   | 30         |
| 1.2.1. Aplicaciones eléctricas de las energías renovables   | 30         |
| 1.2.2. Aplicaciones térmicas de las energías renovables   | 42         |
| 1.2.3. Aplicaciones de bioenergéticos en el sector transporte   | 45         |
| 1.3. Costos internacionales de las tecnologías de energía renovable   | 48         |
| 1.4. Mercado prospectivo para las fuentes de energía renovables, 2011-2035  | 49         |
| 1.4.1. Evolución esperada de los costos de las tecnologías renovables, 2010-2035  | 51         |
| <b>Capítulo 2. Marco regulatorio para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables</b>   | <b>53</b>  |
| 2.1. Marco regulatorio básico para las energías renovables  | 53         |
| 2.2. Marco constitucional   | 54         |
| 2.3. Leyes relacionadas con el aprovechamiento de las energías renovables   | 54         |
| 2.3.1. Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) 54  |            |
| 2.3.2. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)   | 56         |
| 2.3.3. Ley de Aguas Nacionales (LAN)  | 57         |
| 2.3.4. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto  | 57         |
| 2.3.5. Leyes estatales en materia de energías renovables  | 58         |
| 2.4. Principales atribuciones de la Secretaría de Energía en materia de energía renovable   | 59         |
| 2.5. Planes y programas   | 59         |
| 2.6. Estrategia Nacional de Energía 2012-2026   | 62         |
| 2.7. Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTE)  | 63         |
| 2.8. Regulación para el aprovechamiento de las energías renovables  | 63         |
| 2.8.1. Regulación para generación de energía eléctrica  | 63         |
| 2.8.2. Regulación para el aprovechamiento de transmisión eléctrica y desarrollo de nueva infraestructura para aprovechamiento de zonas con alto potencial renovable | 67         |
| 2.8.3. Regulación sistemas térmicos   | 68         |
| 2.8.4. Regulación para la introducción de bioenergéticos  | 68         |
| 2.8.5. Regulación para el aprovechamiento de aguas nacionales   | 68         |
| 2.8.6. Metodologías   | 69         |
| 2.9. Normas y especificaciones técnicas   | 72         |
| 2.10. Unidades de verificación  | 72         |
| <b>Capítulo 3. Situación actual y potencial de las energías renovables en México</b>  | <b>73</b>  |
| 3.1. Generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía   | 73         |
| 3.1.1. Pequeñas, mini y micro centrales hidroeléctricas ( $\leq 30$ MW)   | 73         |
| 3.1.2. Energía Geotérmica   | 75         |
| 3.1.3. Energía Eólica   | 78         |
| 3.1.4. Solar fotovoltaica y termosolar de alta concentración  | 81         |
| 3.1.5. Bioenergéticos para la generación de electricidad  | 84         |
| 3.1.6. Energías oceánicas   | 94         |
| 3.2. Producción de calor a partir de fuentes renovables de energía  | 96         |
| 3.2.1. Geotermia de media y baja temperatura  | 96         |
| 3.2.2. Solar térmica de media y baja temperaturas   | 98         |
| 3.2.3. Bioenergéticos para la generación de calor   | 100        |
| 3.3. Producción de biocombustibles  | 103        |
| <b>Capítulo 4. Prospectiva de energías renovables 2012-2026</b>   | <b>107</b> |
| 4.1. Prospectiva de generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía  | 108        |

|        |   |            |
|--------|---|------------|
| 4.1.1. | Requerimientos de capacidad adicional   | 108        |
| 4.1.2. | Proyecciones de capacidad instalada total y de fuentes renovables   | 110        |
| 4.1.3. | Cumplimiento del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2009-2012   | 116        |
| 4.2.   | Prospectiva de producción de calor a partir de fuentes renovables de energía Prospectiva de producción de calor a partir de fuentes renovables de energía | 118        |
| 4.2.1. | Energía solar térmica   | 118        |
| 4.2.2. | Bioenergéticos para aplicaciones térmicas   | 121        |
| 4.3.   | Prospectiva de producción de biocombustibles  | 121        |
| 4.3.1. | Biodiésel   | 122        |
| 4.3.2. | Etanol anhidro  | 123        |
| 4.3.3. | Bioturbosina  | 124        |
| 4.4.   | Evolución del Inventario Nacional de Energías Renovables  | 125        |
|        | <b>Anexo 1. Características y costos de las tecnologías de energía renovable</b>  | <b>127</b> |
|        | <b>Anexo 2. Normas y especificaciones técnicas</b>  | <b>131</b> |
|        | <b>Anexo 3. Proyecciones de los requerimientos de capacidad adicional (sección 4.1), según los escenarios alto y bajo</b>                                 | <b>135</b> |
|        | <b>Anexo 4. Glosario</b>  | <b>141</b> |
|        | <b>Anexo 5. Abreviaturas, siglas y acrónimos</b>  | <b>147</b> |
|        | <b>Referencias</b>  | <b>151</b> |

# Índice de gráficas

|   |     |
|---|-----|
| Gráfica 1 Distribución de la demanda mundial de energía, 1990-2010  | 26  |
| Gráfica 2 Tasa de crecimiento de la capacidad global de producción de energía renovable,  | 28  |
| Gráfica 3 Distribución del consumo mundial de energía renovable, 2010   | 29  |
| Gráfica 4 Evolución de la capacidad instalada de fuentes de energía renovables, 2001-2011   | 30  |
| Gráfica 5 Composición de la generación de electricidad por tipo de energía en algunos países, 2010  | 32  |
| Gráfica 6 Capacidad instalada de energía fotovoltaica. Principales países, 2011   | 36  |
| Gráfica 7 Capacidad instalada en plantas termosolares. Principales países (España y Estados Unidos), 2011   | 38  |
| Gráfica 8 Capacidad de energía geotérmica. Principales países, 2011   | 39  |
| Gráfica 9 Energía geotérmica para usos térmicos. Principales países, 2010   | 45  |
| Gráfica 10 Producción mundial de etanol, 2000-2011  | 47  |
| Gráfica 11 Costos típicos de instalación de energías renovables   | 48  |
| Gráfica 12 Costos nivelados de energía generada típicos a partir de fuentes renovables  | 49  |
| Gráfica 13 Emisiones para diferentes escenarios de demanda mundial de energía primaria por escenario  | 50  |
| Gráfica 14 Costos de generación de electricidad de las tecnologías con energía renovable a gran escala en el escenario de nuevas políticas                                      | 52  |
| Gráfica 15 Intervalo de irradiación solar global diaria promedio mensual en México  | 83  |
| Gráfica 16 Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo,  | 86  |
| Gráfica 17 Tratamiento de aguas residuales municipales  | 87  |
| Gráfica 18 Potencial técnico de cogeneración por bagazo   | 90  |
| Gráfica 19 Distribución porcentual de sistemas geotérmicos por intervalo de temperaturas  | 98  |
| Gráfica 20 Superficie instalada de calentadores solares de agua en México en 2010   | 99  |
| Gráfica 21 Programa de estufas ahorradoras de leña  | 101 |
| Gráfica 22 Evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables en el Sistema Eléctrico Nacional de acuerdo con la forma de integración con la red, 2012-2026 | 111 |
| Gráfica 23 Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables y nuevas grandes hidroeléctricas para servicio público, 2012-2026                          | 112 |
| Gráfica 24 Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables por autoabastecimiento, 2012-2026  | 113 |
| Gráfica 25 Pronóstico de evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables por generación distribuida, 2012-2026   | 116 |
| Gráfica 26 Capacidad instalada y estimada de energías renovables, 2010-2012   | 117 |
| Gráfica 27 Instalación de sistemas de calentamiento solar de agua de acuerdo con las metas del Procalso   | 119 |
| Gráfica 28 Instalación anual de capacidad de calentamiento solar de agua 2012-2026 en México  | 120 |
| Gráfica 29 Evolución de la capacidad acumulada de calentamiento solar de agua 2012-2026 en México   | 120 |
| Gráfica 30 Producción estimada de leña para uso residencial y producción de carbón vegetal  | 121 |
| Gráfica 31 Volumen a entregar de etanol anhidro   | 123 |
| Gráfica 32 Introducción de Etanol Anhidro   | 124 |
| Gráfica 33 Escenarios de demanda de bioturbosina  | 124 |
| Gráfica 34 Estructura del INER  | 125 |
| Gráfica 35 Evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables en el Sistema Eléctrico Nacional de acuerdo con la forma de integración con la red, 2012-2026 | 136 |
| Gráfica 36 Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables y nuevas grandes hidroeléctricas para servicio público, 2012-2026                          | 137 |
| Gráfica 37 Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables por autoabastecimiento, 2012-2026  | 138 |
| Gráfica 38 Pronóstico de evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables por generación distribuida, 2012-2026   | 139 |
| Gráfica 39 Capacidad instalada estimada de energías renovables para 2026  | 140 |

# Índice de cuadros

|   |     |
|---|-----|
| Cuadro 1 Capacidad instalada de las energías renovables en el mundo, 2011   | 31  |
| Cuadro 2 Producción de biocombustibles en países seleccionados, 2010 y 2011   | 46  |
| Cuadro 3 Emisiones con diferentes escenarios de demanda mundial de energía primaria por tipo de energético y escenario                                  | 51  |
| Cuadro 4 Costos de generación de electricidad basada en energías renovables por tecnología e índices de aprendizaje en el escenario de nuevas políticas | 52  |
| Cuadro 5 Participación de México en el Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL)  | 58  |
| Cuadro 6 Leyes estatales relacionadas con energías renovables   | 59  |
| Cuadro 7 Informe de proyectos de pequeña y mediana escalasal 31 de diciembre de 2011  | 66  |
| Cuadro 8 Capacidad efectiva de generación de centrales hidroeléctricas para servicio público menor o igual a 30 MW, al 31 de diciembre de 2011          | 74  |
| Cuadro 9 Permisos de generación para plantas hidroeléctricas menores o iguales que 30 MW, al 31 de diciembre de 2011                                    | 74  |
| Cuadro 10 Potencial identificado de generación para pequeña, mini y microhidroeléctrica en tres regiones de México                                      | 75  |
| Cuadro 11 Capacidad efectiva de generación geotermoeléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2011   | 76  |
| Cuadro 12 Permisos de generación para plantas eoloeléctricas, al 31 de diciembre de 2011  | 79  |
| Cuadro 13 Potencial estimado de generación eoloeléctrica en México  | 79  |
| Cuadro 14 Potencial de penetración de las tecnologías termosolares de concentración en México   | 84  |
| Cuadro 15 Principales resultados de los estudios de generación de energía eléctrica a partir de residuos de aserrío y aprovechamiento forestal          | 89  |
| Cuadro 16 Potencial de aprovechamiento de biogás proveniente de rellenos sanitarios   | 91  |
| Cuadro 17 Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado porcino en el territorio nacional   | 92  |
| Cuadro 18 Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado bovino en el país   | 93  |
| Cuadro 19 Estimación de la utilización directa del calor geotérmico en aplicaciones de media y baja temperaturas, 2005                                  | 96  |
| Cuadro 20 Potencial estimado de instalación de sistemas de calentamiento solar de agua  | 100 |
| Cuadro 21 Plantaciones forestales dendroenergéticas   | 102 |
| Cuadro 22 Programa ProÁrbol 2007-2011 (Ha sembradas de <i>jatropha</i> )  | 104 |
| Cuadro 23 Potencial productivo de cultivos aptos para la producción de biocombustibles  | 105 |
| Cuadro 24 Capacidad efectiva instalada en el sector eléctrico nacional en 2011  | 109 |
| Cuadro 25 Programa de autoabastecimiento, 2011-2026   | 114 |
| Cuadro 26 Cumplimiento de las metas del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables a 2012   | 117 |
| Cuadro 27 Importaciones estimadas para el 2020  | 122 |
| Cuadro 28 Escenarios de la introducción de biodiésel en diesel UBA  | 123 |

# Índice de mapas

|  |    |
|--|----|
| Mapa 1 Zonas con potencial geotérmico  | 77 |
| Mapa 2 Densidad de potencia del viento a 80 metros de altura en la República Mexicana            | 80 |
| Mapa 3 Irradiación solar global diaria promedio anual en el territorio nacional                  | 82 |
| Mapa 4. Ubicación de los proyectos de producción de energía a partir de biomasa forestal         | 88 |
| Mapa 5 Potencial de aprovechamiento de biogás proveniente de rellenos sanitarios                 | 91 |
| Mapa 6 Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado porcino en el territorio nacional | 92 |
| Mapa 7 Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado bovino en el país                 | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| Mapa 8 Sitios en el mundo con importantes intervalos de marea  | 95  |
| Mapa 9 Distribución geográfica de manifestaciones geotérmicas superficiales ( $T < 200^{\circ} \text{C}$ ) | 97  |
| Mapa 10 Distribución de las estufas ahorradoras de leña con apoyos de la CONAFOR durante 2008-2010         | 101 |



# Presentación

Una de las prioridades de esta Administración en el sector energético, es la transición energética rumbo a una generación y consumo de energía más limpios. Para ello, se han dado pasos firmes para incrementar la participación de las energías renovables y se ha promovido el desarrollo de un nuevo marco legal que permita la difusión de información estratégica, así como la cooperación entre el Gobierno Federal y la iniciativa privada.

El fomento de las energías renovables conlleva múltiples beneficios: por un lado, mitiga la emisión de gases de efecto invernadero y, por el otro, contribuye a la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica, con un impacto positivo en la seguridad energética de México.

La Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, enviada al H. Congreso de la Unión el 29 de febrero de 2012, establece que la generación eléctrica a partir de energías limpias debe alcanzar una participación de 35% de la generación total en 2026. Sin embargo, los costos de generación de estas tecnologías aún resultan elevados en comparación con otras fuentes de energía.

En este contexto, se están produciendo resultados importantes. México cuenta con más de 1,490 MW de capacidad instalada de generación eólica, en contraste con la casi inexistente participación de esta fuente renovable al principio de la Administración. Los proyectos en desarrollo en distintos estados del país, varios de los cuales se lograron a través del desarrollo de nuevas líneas de transmisión eléctrica, contribuirán a incrementar esta capacidad en los próximos años. Cabe mencionar que, algunos de estos proyectos aprovechan el Mecanismo de Desarrollo Limpio, dentro del marco del Protocolo de Kioto, para reconocer la reducción de emisiones e incrementar su viabilidad financiera.

Estas acciones, han sido difundidas a nivel internacional. Un ejemplo lo constituye el reconocimiento que le hizo a México la Asociación Mundial de Energía Eólica por haber sido el país con el mayor crecimiento de capacidad de generación de electricidad con viento, en términos porcentuales, durante 2009.

En este marco, la Secretaría de Energía publica la Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026, que constituye un análisis del sector energético mexicano en materia de renovables. Esta prospectiva ofrece información relevante y actualizada acerca del crecimiento estimado del aprovechamiento de las energías renovables en el mediano y largo plazos, y es un valioso insumo para la planeación del sector, así como para alentar y orientar la inversión en tecnologías limpias. Este documento representa un paso adicional en la construcción de un México más fuerte, con energía.

**Jordy Hernán Herrera Flores**  
Secretario de Energía





# Introducción

En cumplimiento con el Artículo 17 del Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), la Secretaría de Energía publica la Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026. Esta prospectiva tiene el fin de impulsar el uso de tecnologías como la eólica, la solar, la hidroeléctrica, la geotermia, la mareomotriz y la biomasa, entre otras, así como dar a conocer el potencial energético de nuestro país proveniente de recursos naturales.

En la elaboración de esta Prospectiva se ha dado seguimiento a los objetivos planteados por la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, relativos a la diversificación de las fuentes de energía incrementando la participación de tecnologías limpias<sup>1</sup> y, con ello, cumplir con la meta establecida en la LAERFTE de contar con al menos 35% de participación en generación de tecnologías no fósiles al año 2024. Con ello, se espera ser congruente con las directrices de planeación del sector energético.

En el primer capítulo se presenta el panorama internacional de las energías renovables, considerando su evolución y participación en el consumo mundial de energía primaria, así como la capacidad instalada y producción por tipo de fuente (geotermia, solar, eólica, hidráulica, bioenergía, etc.). El capítulo incluye un análisis de las políticas de apoyo y promoción a las energías renovables, y las perspectivas del crecimiento de las mismas en el mundo. En particular la visión prospectiva prevé escenarios que consideran diferentes niveles de intensidad en las políticas gubernamentales dirigidas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y diversificar el portafolio energético.

En el capítulo dos se describe el marco legal, regulatorio y normativo nacional, así como las políticas y programas de apoyo para el desarrollo de las energías renovables. Se destacan los modelos recientes de contrato de interconexión. Se incluyen además, los principales lineamientos establecidos en la Estrategia Nacional de Energía en materia de energías limpias.

El tercer capítulo presenta la situación actual de las energías renovables en México en tres formas de aplicación: en la generación de energía eléctrica, en usos térmicos en el mercado residencial e industrial y, en el uso de combustibles para el sector transporte. También, se enlistan los potenciales identificados para las diferentes fuentes, además de los permisos otorgados por la Comisión Reguladora de Energía en materia de energías renovables.

En el cuarto capítulo se incluye un análisis de las expectativas del desarrollo de las energías renovables en México para los siguientes 15 años. Se analizan tres diferentes escenarios de crecimiento de la demanda de energía en el país: un escenario bajo, otro de planeación y el alto, los cuales consideran los proyectos de generación del sector público a cargo de Comisión Federal de Electricidad, los de autoabastecimiento y la generación distribuida, acorde con la Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026. También se tomaron en cuenta las expectativas de cumplimiento de las metas de la Estrategia Nacional de Energía y el Programa Especial para el Aprovechamiento de

---

<sup>1</sup> Las tecnologías limpias incluyen la eólica, solar, biomasa y biogás, geotérmica, pequeñas hidroeléctricas, grandes hidroeléctricas (más de 30 MW) y la energía nuclear.

Energías Renovables. Los escenarios planteados proyectan el desarrollo probable de la penetración de las diferentes tecnologías de energía renovable, con diferentes supuestos de crecimiento económico que incluyen el decaimiento de los costos esperados en el horizonte de planeación. Al final del capítulo se presentan los estados de desarrollo y avances del Inventario Nacional de Energías Renovables (INER).

Esperamos que este esfuerzo resulte de utilidad para proporcionar una visión de las energías renovables en México para el período 2012-2026. No omitimos mencionar, que se sigue trabajando para crear las mejores condiciones y aprovechar el amplio y valioso potencial que tenemos en beneficio de nuestro país y de las futuras generaciones.

# Resumen ejecutivo

La Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026 aborda el panorama internacional del aprovechamiento de las energías renovables en el mundo y las aplicaciones actuales en el suministro de la matriz energética global. Varios países han apostado al desarrollo tecnológico lo que les ha permitido utilizar diversas fuentes renovables, fundamentalmente para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, su participación en la producción mundial aún es pequeña a pesar de representar una opción real para cubrir la demanda prevista en los escenarios de generación de energía más adversos en el mundo. Y esto se debe a que en algunos escenarios el encarecimiento de las fuentes fósiles de energía y de las metas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) establecidas en acuerdos internacionales han hecho imprescindible crear programas para la promoción de fuentes renovables.

En 2010, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), la oferta total de energía primaria en el mundo fue de 12,717 millones de toneladas equivalentes de petróleo, de las cuales se produjo el 13.0% a partir de fuentes renovables de energía (incluyendo las grandes centrales hidroeléctricas).

Actualmente la IEA considera diversos escenarios para las energías renovables<sup>2</sup>, que contemplan distintos niveles de compromiso respecto a las políticas gubernamentales dirigidas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a la diversificación del portafolio energético. En este sentido se prevé una expansión rápida en el uso de las energías renovables modernas hacia 2035. Se espera que el suministro de energía renovable moderna (hidráulica, eólica terrestre y marina, solar, geotérmica, de los océanos y biomasa moderna) se incremente de 840 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtpe) en 2008 a una participación en el intervalo de 1,900 Mtpe a 3,250 Mtpe en 2035, en función de los diferentes escenarios.

Los costos unitarios de generación de las tecnologías de energías renovables continuarán disminuyendo durante 2012-2035; las principales causas de este decrecimiento serán el aumento en la implantación de las tecnologías, que acelera el progreso tecnológico, y el desarrollo de economías de escala en la fabricación de los equipos asociados. En particular, se espera que los costos de la tecnología solar fotovoltaica en grandes centrales y sistemas integrados en edificios disminuyan considerablemente sus costos. De igual forma, pasará con las plantas solares de concentración y los parques eólicos marinos.

Se estima que los costos de las tecnologías más maduras, como la eólica terrestre y la geotermia, tendrán una mínima caída, y los de la energía hidroeléctrica ya no tendrán cambios significativos.

Tomando en consideración la creciente participación de las energías renovables en el mundo, y con el fin de promover y aumentar la participación de éstas en México, durante la presente Administración se han expedido diversas leyes y regulaciones en esta materia, que proporcionan certeza jurídica a los usuarios que desean implementar el uso de energías renovables en nuestro país. Entre otras destacan, la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), que regula el uso de fuentes alternativas

---

<sup>2</sup> *World Energy Outlook*, IEA, 2011.

para la generación de energía eléctrica con fines distintos a la prestación del servicio público; el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables que tiene como propósito primordial establecer las políticas públicas en la materia, al determinar metas para el uso de dichas fuentes de energía y las acciones por desempeñar para alcanzarlas, con estricto apego a los objetivos generales del Plan Nacional de Desarrollo, del Programa Sectorial de Energía y del Programa Nacional de Infraestructura vigentes. En el caso particular de las pequeñas, micro y mini hidroeléctricas, por medio de la modificación de la Ley de Aguas Nacionales, se busca permitir el desarrollo y aprovechamiento del recurso hídrico con fines de generación eléctrica, a través de la regulación en uso o explotación preservando su cantidad y calidad.

Por otra parte, la LAERFTE también establece el incrementar la participación de las tecnologías no fósiles en la generación de energía eléctrica a 35% al 2024. Con ello, las energías renovables toman un papel preponderante para alcanzar dicho cometido. También, la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, impulsa políticas, programas, acciones y proyectos enfocados al logro de una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias.

En lo que respecta a la situación actual y el potencial de las energías renovables en México, cabe mencionar que a diciembre de 2011, la capacidad de generación hidráulica que opera la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en plantas con una capacidad igual o menor que 30 MW, se ubicó en 286.6 MW, mientras que la Comisión Reguladora de Energía (CRE) registró 27 permisos de generación mediante plantas hidráulicas, con una capacidad total de 305 MW.

Para la generación geotermoeléctrica, de acuerdo con datos de la CFE, al 31 de diciembre de 2011 se encontraban en operación 38 unidades de generación con una capacidad instalada de 886.6 MW. Con base en estudios preliminares<sup>3</sup>, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) infiere que existen en el país un total de reservas geotérmicas equivalentes a 10,644 MWe, de las cuales 10.7% son reservas probadas, 19.5% son reservas probables y 69.7% son reservas posibles. El IIE también identificó proyectos geotermoeléctricos en etapa de estudio con una capacidad de 434.1 MW. Sin embargo, el informe *Evaluación de la Geotermia en México*, realizado por encargo del Banco Interamericano de Desarrollo, cuenta con un modelo volumétrico con simulación Montecarlo, que indica que el potencial de recursos hidrotermales susceptibles de ser explotados mediante plantas de condensación y plantas de ciclo binario se encuentra entre 887 y 948 MWe.

En cuanto a las aplicaciones térmicas de la geotermia de media y baja temperaturas (36 a 208°C), el IIE ha estimado un potencial aprovechable de esta fuente de energía en 26 estados de la República que oscila en el intervalo de 1,168 a 1,274 EJ, con un 90% de confianza; mismo que representa una cota inferior para los recursos geotérmicos debido a la gran proporción de sitios que continúan sin evaluarse.

El IIE también ha llevado a cabo estudios para establecer el potencial eoloenergético nacional. Estas estimaciones se basan en el supuesto de que sólo el 10% del área total con potencial es aprovechable para la instalación de parques eólicos, debido a factores orográficos, ambientales, sociales y de factibilidad técnica y económica.

<sup>3</sup> INFORME IIE/11/3753/I 01/P, Estimaciones del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México, IIE, Marzo 2005.

Como resultado, el potencial energético del recurso eólico estimado en el territorio nacional es del orden de 71 mil MW, considerando factores de planta superiores al 20%. Para factores de planta mayores que 30% se estima un potencial de 11,000 MW y con más de 35% de factor de planta se estiman 5,235 MW. Cabe mencionar que en las condiciones que rigen actualmente el mercado nacional de electricidad, los proyectos con factores de planta inferiores al 30% resultan económicamente factibles en ciertos nichos de oportunidad.

México se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional, situación que resulta ideal para el aprovechamiento de la energía solar, ya que la irradiación global media diaria en el territorio nacional es de alrededor de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>, colocando al país dentro de los primeros lugares en el mundo. El IIE ha realizado estudios respecto del potencial de aprovechamiento de la energía solar térmica de concentración y ha estimado un potencial medio aprovechable en el corto plazo en las zonas norte y noroeste del país de 1,653 MW, mientras que el potencial para calentamiento solar de agua se ubica en más de dos millones de metros cuadrados de calentadores solares de agua al año.

Por otra parte, a pesar que actualmente México no cuenta con desarrollos piloto o comerciales de centrales de generación operadas por las diferentes formas de energía oceánica, algunos estudios realizados por la CFE indican que existen zonas con alto potencial para su aprovechamiento en el país, principalmente de la energía mareomotriz en la región del Alto Golfo de California. Se creó que en un área de embalse de 2590 km<sup>2</sup>, podría disponer de una potencia máxima instalada de 26 GW, con una producción de 23,000 GWh/año.

En materia de bioenergía, el Gobierno Federal ha realizado importantes esfuerzos para impulsar la producción de insumos y de bioenergéticos en el país. Actualmente existen diversos proyectos para la producción de etanol anhidro, biodiésel y biogás, además que se está fomentando la investigación científica y el desarrollo tecnológico para bioenergéticos de segunda generación.

Por lo que hace al uso de biomasa, el sector doméstico es el más intensivo, principalmente en el consumo de leña. Datos del INEGI para 2007 señalan que aproximadamente 28 millones de habitantes cocinaban sus alimentos con la quema directa de la biomasa. Ésta, también, fue utilizada como combustible en pequeñas industrias como las ladrilleras, panaderías, tortillerías y producción de carbón vegetal.

Los rellenos sanitarios son los proyectos a corto y mediano plazo más rentables para el aprovechamiento de los bioenergéticos. Durante 2010, en México se tenía una disposición de desechos que ascendía a 28.2 millones de toneladas anuales, con una composición aproximada del 53% de residuos orgánicos, los cuales eran enviados a 186 rellenos sanitarios. También se cuenta con, plantas tratadoras de aguas municipales con un flujo aproximado de 113 m<sup>3</sup>/s; plantas tratadoras de aguas industriales con un flujo aproximado de 33.7 m<sup>3</sup>/s y una composición aproximada del 5 al 10% de material orgánico; residuos provenientes de las granjas porcinas, con una capacidad de generación en el intervalo de 492 a 738 mil toneladas de metano al año, y en granjas bovinas, con una generación de 440 a 700 mil toneladas de metano al año; también de residuos agrícolas, con una capacidad de 576.1 MW y una producción potencial de 1,214 GWh/año, provenientes del bagazo de la caña de azúcar.

No obstante que en México ya se han desarrollado proyectos en materia de bioenergéticos, diversos factores como la falta de incentivos directos a los productores, la existencia de apoyos a los combustibles de origen fósil y la falta de certeza respecto a los rendimientos de los insumos, han

provocado una lenta introducción de los mismos en la matriz energética. En este sentido, la investigación y el mejoramiento de semillas que se realiza en el país constituye un potencial detonador que puede llevar a México a consolidarse como líder mundial en la producción de biocombustibles.

Por otro lado, el análisis prospectivo de las energías renovables tiene contemplada la expansión de la infraestructura de aprovechamiento de estas energías en forma de electricidad, calor y biocombustibles en México. Dicho análisis se basa en la Estrategia Nacional de Energía, el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables, el Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procalsol), los programas en materia de bioenergéticos y la propia evolución o tendencia del mercado energético en los próximos años.

Las proyecciones de infraestructura abarcan el período 2012 - 2026, planteando tres escenarios, uno de desarrollo bajo, uno de planeación y uno de desarrollo alto. La construcción de estos escenarios busca establecer el intervalo de variación en el que se espera se desarrollen las diversas fuentes renovables de energía y las grandes hidroeléctricas, de acuerdo con la evolución esperada de la economía, los requerimientos energéticos de la misma, el decaimiento en los costos de estas tecnologías, así como el crecimiento en los costos de las fuentes energéticas convencionales.

De esta manera, para 2026 se espera que la capacidad adicional instalada con energías renovables y grandes hidroeléctricas sea de 18,505 MW, 20,545 MW y 22,788 MW en los escenarios bajo, de planeación y alto, respectivamente. De dicha capacidad, 39.7% corresponde a servicio público, 49.8% a autoabastecimiento y 10.5% a generación distribuida de pequeña, mediana y gran escala.

Al 2026 se estima tener un incremento en la capacidad de generación, a partir de energías renovables y grandes hidroeléctricas en la modalidad de servicio público, de 8,160 MW en el Escenario de planeación (Escenario bajo=7,346 MW y Escenario alto=9,054 MW), con 3,219 MW para ser generados a partir de viento, 151 MW por geotermia, 4,749 MW de grandes hidroeléctricas, 22 MW con pequeñas centrales hidroeléctricas, 6 MW con solar fotovoltaico y 14 MW con solar de concentración.

En lo que corresponde a la modalidad de autoabastecimiento, se estima que para el 2026 se incorporen 10,228 MW en el escenario de planeación (Escenario bajo=9,214 MW y Escenario alto=11,344 MW), con fuentes renovables de energía distribuidas de la siguiente forma: 81.6% (8,352 MW) en plantas eólicas, 7.36% (752 MW) con solar fotovoltaico, 6.9% (701 MW) con pequeña, mini y micro hidráulica y 4.1% (422 MW) con bioenergía.

Por su parte, la participación de la generación distribuida, con base en las proyecciones elaboradas por la Secretaría de Energía (SENER), tendrá una incorporación en capacidad de 2,156 MW en el escenario de planeación (Escenario bajo=1,944 MW y Escenario alto=2,389 MW), con 21.1% (461 MW) en plantas eólicas, 6.35% (139 MW) en pequeña, mini y micro hidráulicas, 54.8% (1,170 MW) en solar fotovoltaica, 15.8% (345 MW) en plantas operadas con bioenergía, 0.7% (16 MW) en solar de concentración y 1.15% (25 MW) en geotermia. Esto permitirá cumplir la meta de largo plazo establecida en la LAERFTE y en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 de incrementar la participación de energías limpias en la de generación eléctrica a 35% del total para el 2026, incluidas las fuentes renovables, grandes hidroeléctricas, carboeléctricas y ciclos combinados que cuenten con captura y secuestro de carbono (CO<sub>2</sub>) y energía nuclear.

Por su parte, el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables, el cual está alineado a los objetivos de la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, contribuye en el corto plazo con las metas nacionales de incrementar la participación de las energías renovables en el parque de generación eléctrico del país. Se prevé que este Programa que tiene una vigencia al 2012, tenga un nivel de cumplimiento de las metas globales de capacidad y generación del 79% y 133%, respectivamente.

En cuanto a las proyecciones de producción de calor mediante fuentes renovables de energía, éstas consideran la energía entregada a partir de sistemas que aprovechan la energía solar térmica y la leña. De manera particular, se estima que con el desarrollo del Procalsol y la evolución propia del mercado de calentadores solares de agua se contará con la instalación adicional de 12.3, 17.9 y 26.7 millones de metros cuadrados de superficie de calentadores solares –en los escenarios bajo, de planeación y alto, respectivamente.

Resulta importante mencionar que como resultado de algunas acciones emprendidas por el Gobierno Federal y organizaciones sociales, el consumo de la leña ha disminuido ya que más personas en zonas rurales se han visto beneficiadas por fuentes de energía como la electricidad, el gas natural, el gas licuado y las energías renovables, como la solar. Asimismo, se han desarrollado campañas para el uso de estufas de leña eficientes para la protección de la salud de las familias en zonas marginadas, evitándose así enfermedades como la neumonía, bronquitis, tuberculosis y cáncer pulmonar originados por la respiración de gases producidos en la combustión de la leña. Estas acciones también representan una reducción significativa del consumo y, por ende, de la deforestación por tala de árboles.

En lo que respecta a la bioenergía, se espera que en los siguientes años el uso de residuos de la biomasa se traduzca en una disminución en el uso de energías de origen fósil, y que haya un crecimiento en el desarrollo de proyectos de biocombustibles para el transporte, así como biogás y bioenergéticos de segunda y tercera generación.

México tiene un gran potencial de biomasa de residuos agrícolas, y con el uso de nuevas tecnologías para su uso en cogeneración de energía eléctrica, se estima que para el año 2025 los 57 ingenios del país alcancen un potencial técnico máximo de cogeneración de 1,025 MW y neto de 979 MW, de acuerdo con estimaciones realizadas por la Sener con base en el crecimiento anual de cogeneración a partir de bagazo que ha experimentado la industria en los últimos 5 años.

Las principales herramientas para detonar el desarrollo de cultivos comerciales bioenergéticos provendrán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas, a través de paquetes tecnológicos dirigidos a los productores de cultivos bioenergéticos, lo que les permitirá obtener cosechas rentables en toda la extensión del país con altos beneficios sociales para el campo. Asimismo, la evolución de nuevas tecnologías, como la producción de aceites de algas y producción de etanol celulósico, incrementará la rentabilidad de los proyectos bioenergéticos. Por otra parte, se prevé que las normativas nacionales e internacionales evolucionarán estableciendo estándares para el uso de biocombustibles en las mezclas de gasolinas y biodiésel, generando a su vez, un mercado nacional e internacional de gran escala.





# Capítulo 1. Panorama internacional de las fuentes de energía renovables

En la actualidad, el sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía de cada país. El incremento en el nivel de vida de la población, ha generado un aumento persistente de la demanda energética. La naturaleza finita de los recursos ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía; así como a desarrollar el potencial del uso de fuentes de energía no fósiles. Bajo este contexto, el uso de las energías renovables aparece como un elemento que contribuye a aumentar la seguridad energética del país, al diversificar su matriz energética ante la expectativa del encarecimiento y la volatilidad de las fuentes convencionales de energía<sup>4</sup>, así como a mitigar las emisiones de gases efecto invernadero y las graves consecuencias del cambio climático provenientes del uso de energéticos fósiles.

Países como Alemania, Brasil, Dinamarca, España, Canadá y Reino Unido han desarrollado tecnologías que les han permitido utilizar diversas fuentes renovables, fundamentalmente para la generación de energía eléctrica y, aunque su participación en la producción mundial aún es pequeña, estas energías representan una opción para el suministro eléctrico mundial. El análisis de las experiencias internacionales<sup>5</sup> muestra que las energías renovables son un tema prioritario en las agendas energéticas, tanto en los países industrializados como en las economías en desarrollo, gracias a sus efectos positivos en las esferas ambiental, económica y social. Las energías renovables son precursoras del desarrollo y comercialización de nuevas tecnologías, de la creación de empleo, de la conservación de recursos energéticos no renovables, de la reducción de la dependencia de energéticos importados mediante el aprovechamiento energético de recursos locales, y de la reducción de gases de efecto invernadero y de partículas que pueden dañar el ambiente y la salud pública, entre otros.

En este capítulo, se presenta un análisis del comportamiento histórico reciente y las tendencias a futuro del mercado mundial de energías renovables, particularizando en algunas tecnologías específicas. Se analiza también, el panorama puntual de algunas regiones que, por su evolución, sirven de pauta para prever la incorporación de estas tecnologías en otras regiones del orbe.

Por otro lado, a lo largo del documento, se identifican a las grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas, a las energías eólica, solar, geotérmica, la energía de los mares, y a los bioenergéticos (biomasa, biogás y biocombustibles) como las formas más importantes de fuentes de energía renovable.

---

<sup>4</sup> Sobre las perspectivas del gas natural pesa mucha menor incertidumbre: tanto del lado de la demanda como de la oferta diferentes factores indican un brillante futuro, e incluso una "edad de oro del gas natural". De acuerdo al *World Energy Outlook 2011*, el consumo de gas natural aumenta en los tres escenarios de penetración de las energías renovables analizados y planteados en la publicación referida.

<sup>5</sup> *World Energy Outlook 2011*, IEA, 2011.

## 1.1. Antecedentes del aprovechamiento de energía renovable en el mundo

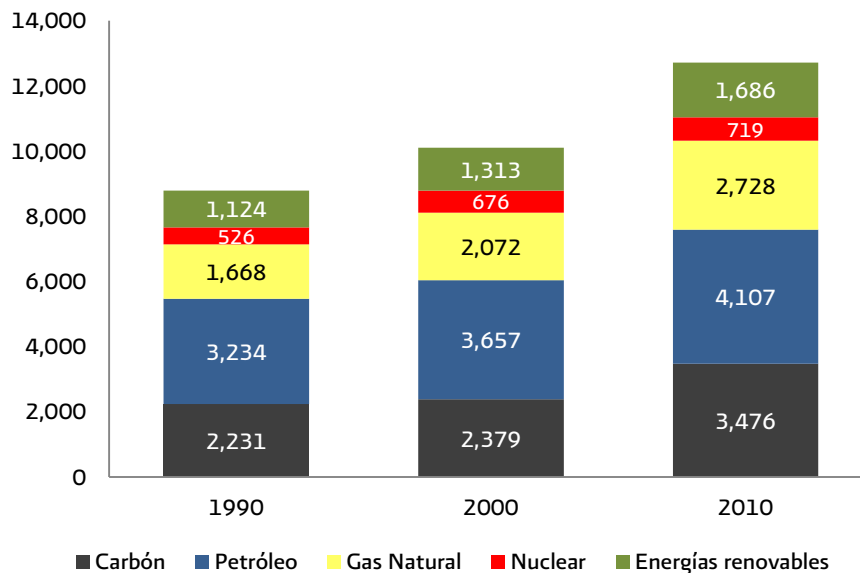
### Distribución mundial de las fuentes renovables: situación actual y nuevas tendencias

En 2010, la oferta total de energía primaria en el mundo (OTEP) fue de 12,715 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtpe), de las cuales 13.3% (1,685.7 Mtpe) provinieron de fuentes renovables de energía. La contribución de otras fuentes de energía fue de 32.3% para petróleo, 27.3% para carbón, 21.5% para gas natural y 5.7% para energía nuclear<sup>6</sup>.

Las energías renovables crecieron a una tasa promedio anual de 2.9% de 1990 a 2010, y contribuyeron con 19.4% de la generación de energía eléctrica mundial<sup>7</sup>. El proceso de transición hacia una mayor participación de las energías renovables en el mundo ha sido impulsado por una serie de factores, entre los cuales se destacan las preocupaciones de soberanía y de seguridad en el abasto de energía en países importadores; la alta volatilidad de los precios de los combustibles de origen fósil; las preocupaciones por los impactos ambientales de los sistemas energéticos, en particular el cambio climático; y la caída en precio de las tecnologías renovables como resultado del desarrollo tecnológico.

Desde hace dos décadas, este proceso de transición se ha acelerado en varios países del mundo, debido a importantes inversiones en la explotación y uso de las energías renovables, como el caso de Alemania, España, Dinamarca, Estados Unidos, Brasil, India y China.

**Gráfica 1**  
**Distribución de la demanda mundial de energía, 1990-2010**  
**(Millones de toneladas de petróleo equivalente)**



Fuente: *International Energy Agency. 2012. World Energy Balances.*

<sup>6</sup> *International Energy Agency. 2012. World Energy Balances.*

<sup>7</sup> *International Energy Agency. 2012. World Energy Balances.*

Como se muestra en la Gráfica 1, entre 1990 y 2010, la demanda mundial de energía se incrementó de 7,216 millones de toneladas de petróleo equivalente (Mtpe) a 12,715 Mtpe. La participación de la demanda de petróleo pasó de 43% a 32%. Asimismo, todas las demás fuentes de generación de energía incrementaron su importancia en la canasta energética mundial.

Con base en el consumo total de energía primaria mundial en 2010 de 12,715<sup>8</sup> Mtpe y el incremento del consumo de energía primaria reportado para el año 2011 de 2.5% por parte de BP<sup>9</sup>, se estima que la demanda mundial de energía primaria ascendió a 13,138 Mtpe durante 2011<sup>10</sup>, de la cual las energías renovables representaron el 13.5%. La contribución de las fuentes de energía se incrementó ligeramente en todos los casos, con excepción de la energía nuclear que registró un descenso de 4.3%.

### Participación y evolución de la energía renovable en el consumo mundial de energía primaria

Entre 2006 y 2011, la capacidad de producción global de energías renovables, incluyendo grandes hidroeléctricas, creció a tasas promedio anuales muy altas (entre 17% y 58%). La energía solar fotovoltaica registró el crecimiento más acelerado, con un aumento en la capacidad instalada de 58% anual promedio durante el período citado. Por primera vez, en 2011 la energía solar fotovoltaica representó la mayor cantidad de nueva capacidad eléctrica instalada en la Unión Europea, más que ninguna otra tecnología. Por otra parte, la energía solar termoeléctrica aumentó casi 37%, considerando que existía una pequeña cantidad de plantas instaladas al inicio del período. La producción de biocombustibles ha sido variada, con una expansión del biodiésel en 2011, mientras que el etanol se mantiene estable, ligeramente por debajo en comparación con 2010; la energía eólica creció a un ritmo de 27% anual (véase Gráfica 2).

Otras tecnologías, incluyendo la energía hidroeléctrica y la geotermia, han crecido a tasas más moderadas, que van de 2% a 3%, haciendo comparable su comportamiento con las tasas de crecimiento global de combustibles fósiles de 1% a 4%<sup>11</sup>.

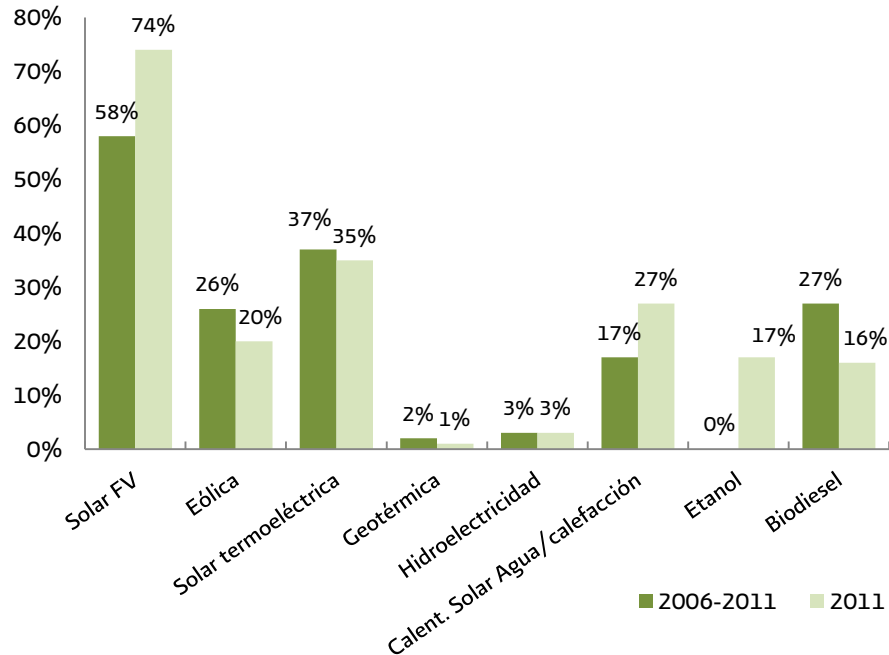
<sup>8</sup> La IEA dispone en su "Servicio de Datos" (base de datos de energía con acceso vía internet) con información consolidada del consumo mundial de energía primaria únicamente hasta el cierre del año 2010. Fecha de la última consulta 15/10/2012.

<sup>9</sup> *BP Statistical Review of World Energy*, Junio 2012. De acuerdo a este informe, en 2011 se registró un incremento global del consumo de energía primaria en el mundo de 2.5%. Este incremento se debió en casi todas los energéticos: carbón, 5.4%; petróleo, 0.7%; gas natural, 2.2%; nuclear, hidroelectricidad, 1.6%; renovables, 17.7%; biocombustibles, 0.7%; nuclear, -4.7%.

<sup>10</sup> Estimación realizada por SENER con base en el consumo de energía primaria mundial al cierre de 2010 reportado en *World Energy Balances* (Octubre 2012) de la IEA y las variación en el consumo de energía primaria mundial de 2011 vs 2010 que reportó *BP Statistical Review of World Energy 2012*.

<sup>11</sup> REN21. 2012. *Renewables 2012 Global Status Report*.

**Gráfica 2**  
**Tasa de crecimiento de la capacidad global de producción de energía renovable,**  
**2006-2011**  
**(%)**

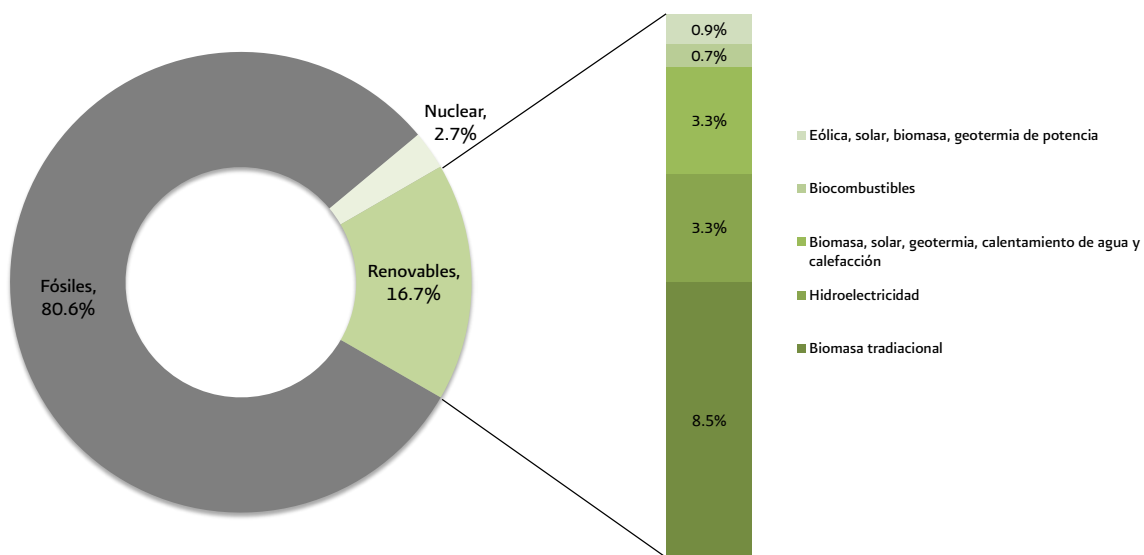


Fuente: *Renewables 2012, Global Status Report*, REN21, 2012.

En 2010, la energía proveniente de fuentes renovables suministró 16.7% del consumo final de energía<sup>12</sup>, considerándose como fuentes renovables a la biomasa tradicional, a las grandes hidroeléctricas, así como a las llamadas “nuevas” energías renovables, tales como pequeñas centrales hidroeléctricas, bioenergéticos, energía eólica, solar y geotérmica.

<sup>12</sup> REN21. 2012. *Renewables 2012 Global Status Report*.

**Gráfica 3**  
**Distribución del consumo mundial de energía renovable, 2010**



Fuente: *Renewables 2012, Global Status Report, REN21, 2012.*

Como se observa en la Gráfica 3, la biomasa tradicional representó casi el 50% de la energía renovable consumida en el mundo. Entre sus principales usos están la preparación de alimentos y la calefacción. Su demanda ha crecido lentamente, a una tasa media de crecimiento anual de 1.3% durante el periodo 1990-2010, incluso ha disminuido en algunas regiones donde se utiliza de manera más eficiente o ha sido reemplazada por formas más modernas de energía. La biomasa moderna comprende el uso mejorado de la biomasa tradicional, como en las cocinas de gran rendimiento "sin humo", así como en la generación de electricidad, producción de calor y combustibles líquidos neutros o bajos en emisiones de carbono y las fuentes sostenibles de biomasa.

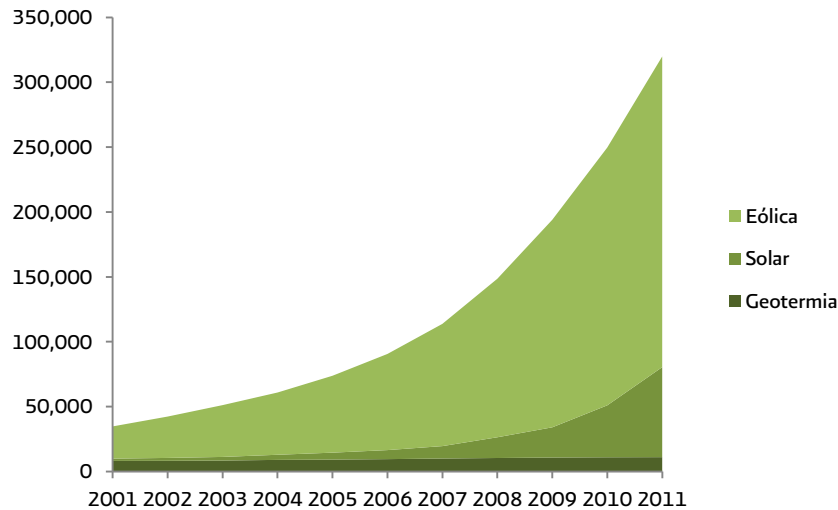
Cabe destacar, que la energía renovable ha sustituido gradualmente a los combustibles convencionales en cinco mercados distintos: la generación de electricidad, calentamiento de agua, calefacción, combustibles para transporte y la provisión de energía en centros rurales alejados de la red energética.

### Capacidad instalada de las fuentes de energías renovables en el mundo

Las fuentes de energías renovables han incrementado su capacidad instalada en los últimos 9 años (véase Gráfica 4). La energía eólica ha aumentado en poco más de ocho veces su capacidad instalada, mientras que la energía solar fotovoltaica lo ha hecho 38 veces<sup>13</sup>. La geotermia en cambio ha aumentado en poco más de una tercera parte de lo que representaba en 2001.

<sup>13</sup> Tomando en cuenta que la base de participación de la energía fotovoltaica es aún muy pequeña, el impacto de este crecimiento ha repuntado en los últimos tres años. *British Petroleum Statistical Review of World Energy, 2012.*

**Gráfica 4**  
**Evolución de la capacidad instalada de fuentes de energía renovables, 2001-2011**  
**(MW)**



Fuente: *BP Statistical Review of World Energy 2012*.

En las siguientes secciones se analizan tanto las aplicaciones térmicas de las energías renovables en el mercado residencial, en la industria y en combustibles para el transporte, como la generación de energía eléctrica a partir de las fuentes renovables.

## 1.2. Aprovechamiento de energías renovables, 2011

### 1.2.1. Aplicaciones eléctricas de las energías renovables

En 2011, la capacidad mundial instalada de las fuentes de energía renovable se estimó en 1,360 gigawatts (GW), alrededor de 8% más de lo registrado en 2010, lo que la llevó a representar aproximadamente un cuarto de la capacidad global instalada (estimada en alrededor de 5,360 GW en 2011) y alrededor del 20.3% del suministro global de energía eléctrica (Cuadro 1).

De acuerdo con el reporte anual de energías renovables de REN21<sup>14</sup>, la mitad de esta capacidad se encuentra en países desarrollados, tan solo Europa concentra 20%. En el sector eléctrico, las energías renovables sumaron casi la mitad de los 208 GW estimados de capacidad adicional en el mundo durante 2011. Las energías eólica y solar fotovoltaica fueron las que más incrementaron capacidad durante 2011, con 40% y 30% de nueva capacidad, respectivamente, seguidas por la hidroeléctrica con casi 25%.

<sup>14</sup> *Renewables 2012, Global Status Report, REN21, 2012*. Demanda total final de energía (estimación de 8,823 Mtoe) basado en 8,353 Mtoe para 2009 de la Agencia Internacional de Energía (IEA), *World Energy Statistics 2011* y estimaciones de 5.6% de incremento en la demanda de energía primaria global de 2009 a 2010 derivado del informe *BP Statistical Review of World Energy 2011*.

Los países que utilizan de manera más intensiva las energías renovables para la generación de electricidad son Islandia, Noruega, Paraguay, Colombia, Brasil y Canadá, que van desde 100% hasta 61% de participación. En contraste, los que presentan la menor participación de estas tecnologías entre 0% y 9% son Arabia Saudita, Israel, Argelia, Sudáfrica, Corea del Sur y Australia<sup>15</sup>.

**Cuadro 1**  
**Capacidad instalada de las energías renovables en el mundo, 2011**

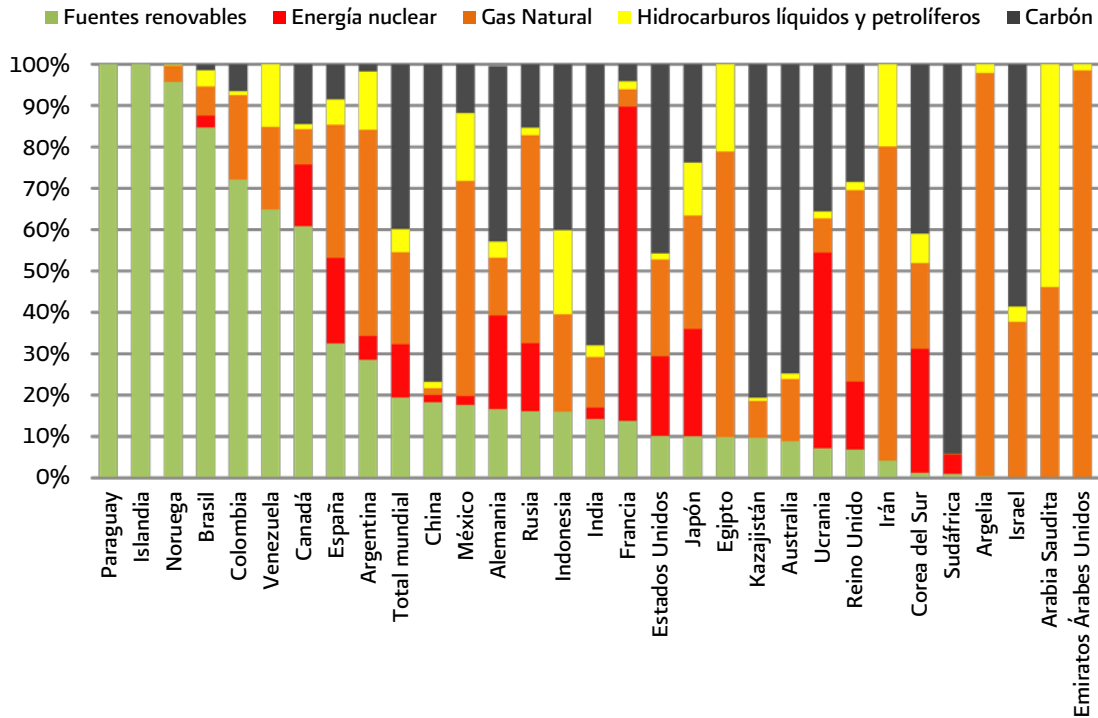
| Fuentes / Tecnologías  | Capacidad agregada en 2011 | Capacidad existente a finales de 2011 |
|--|----------------------------|---------------------------------------|
| Generación de electricidad (GW)                                |                            |                                       |
| <b>Eoloeléctricas</b>  | 40                         | 238                                   |
| <b>Solar fotovoltaica</b>                                      | 30                         | 70                                    |
| <b>Concentración solar termoeléctrica</b>                      | 0.46                       | 1.76                                  |
| <b>Hidroeléctricas</b>   | 25                         | 970                                   |
| <b>Biomasa</b>   | 5.9                        | 72                                    |
| <b>Geotermoeléctrica</b>                                       | 0.1                        | 11.1                                  |
| <b>Energías oceánicas</b>                                      | 0.3                        | 0.5                                   |
| Calentamiento de agua/calentamiento (GWt)                      |                            |                                       |
| <b>Calentamiento solar de agua / calentamiento de espacios</b> | >49                        | 232                                   |
| <b>Biomasa</b>   | 10                         | 290                                   |
| <b>Geotermia</b>   | 7                          | 58                                    |
| Combustibles líquidos (billones de litros/ año)                |                            |                                       |
| <b>Etanol</b>  | -0.4                       | 86.1                                  |
| <b>Biodiésel</b>   | 2.9                        | 21.4                                  |

Fuente: SENER, con información de *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

La participación de las energías renovables depende de varios factores, entre ellos: los tamaños de las economías, el grado de avance de las tecnologías y el estado de sus políticas energéticas. La tendencia, en países de Medio Oriente y África, se inclina a mantener una alta participación de energías fósiles en la generación eléctrica de sus naciones. México se encuentra entre Estados Unidos y Canadá, pero por debajo de las participaciones presentadas por Brasil y Venezuela que cuentan con recursos y desarrollos hidráulicos importantes (véase Gráfica 5).

<sup>15</sup> *Electricity Information 2012*, IEA, 2012.

**Gráfica 5**  
**Composición de la generación de electricidad por tipo de energía en algunos países, 2010**  
**(Participación porcentual)**



Fuente: *World Energy Balances 2012, Extended Energy Balances*, IEA, 2012.

Los cinco países más importantes en capacidad instalada de energía renovable para generación de electricidad, incluyendo a las pequeñas hidroeléctricas son: China (70 GW), Estados Unidos (68 GW), Alemania (61 GW), España (28 GW) e Italia (22 GW). Si se incluyen las grandes hidroeléctricas la lista de países cambia quedando como líderes China (282 GW), Estados Unidos (147 GW), Brasil (86 GW), Canadá (74 GW) y Alemania (65 GW).

### Energía eólica

La capacidad de generación eléctrica total acumulada de energía eólica en 2011 llegó a 238 GW<sup>16</sup>, con un crecimiento promedio anual de 25.5% en el periodo 2001-2011. Durante 2011, la capacidad instalada de energía eólica aumentó 40 GW a nivel mundial, 20% más con respecto a lo registrado en 2010. Las adiciones de 2011 fueron equivalentes a casi la quinta parte del total de las instalaciones, mientras que la capacidad acumulada se duplicó en menos de tres años. Estas adiciones en capacidad instalada son las más importantes registradas con energías renovables.

El mercado eólico mantuvo su nivel de crecimiento en 2011 y, por segundo año consecutivo, la mayor parte de la capacidad instalada se llevó a cabo en los países en desarrollo y en mercados emergentes; impulsado principalmente por China que representó casi la mitad del mercado global con 117.6 GW. Le siguen Estados Unidos, con un aumento de 6.8 GW y la Unión Europea con 9.6

<sup>16</sup> *Renewables 2012, Global Status Report*, REN21, 2012.



GW, encabezada por Alemania, España, Francia, Italia, Reino Unido, Portugal y Dinamarca<sup>17</sup>. Otros mercados en el mundo están empezando a despuntar. Brasil y México instalaron 0.54 GW y 0.21 GW, respectivamente, durante 2011, con lo cual alcanzaron al final de ese año, 1.47 y 0.67 GW de capacidad instalada. Sin embargo, esta zona todavía representa una proporción muy pequeña de la energía eólica mundial.

A finales de 2010, por lo menos 11 países de la región de África y Medio Oriente registraron una dinámica actividad, instalando parques eólicos comerciales, con una capacidad de 213 MW, sumando una capacidad total de 1,065 MW. Sin embargo, durante 2011 hubo poco desarrollo en la región, en parte debido a la inestabilidad geopolítica de los países árabes. Uno de los países que sumó nueva capacidad fue Cabo Verde, pasando de 2 MW a 27 MW, asimismo, Etiopía se unió a los países con proyectos eólicos a escala comercial, además el mercado sudafricano parece volverse dinámico después de una exitosa ronda de licitaciones en 2011. La capacidad instalada en Irán aumentó de 3 MW a 91 MW instalados en 2011 y es el único país en Medio Oriente con proyectos eólicos a gran escala. En el norte de la región, Turquía añadió 0.5 GW de parques eólicos para alcanzar un total de 1.8 GW.

La tendencia mundial incluye el incremento en el tamaño individual de los parques eólicos marinos y en tierra, impulsados principalmente por consideraciones de costo de la infraestructura asociada (líneas de transmisión a los puntos de interconexión, subestaciones, costos de permisos y licencias); proyectos comunitarios, en países como Canadá; pequeñas turbinas para electrificación rural; el desarrollo de inversores de bajo costo para interconexión a la red eléctrica; así como proyectos en una amplia variedad de localizaciones geográficas que, hasta ahora, no se habían aprovechado. El tamaño promedio de las turbinas eólicas siguió aumentando en 2011 con el lanzamiento de máquinas de hasta 5 MW y con diseños de accionamiento directo por parte de algunos fabricantes, capturando hasta 20% del mercado global. La tendencia en la industria eólica apunta a tener máquinas eólicas con capacidad de 7.5 y 10 MW en los próximos cinco años.

### **Energía eólica marina**

La industria de la energía eólica marina ha registrado un acelerado crecimiento, impulsado en gran medida por la menor disponibilidad de buenos sitios en tierra firme. Se estima que la capacidad total acumulada fue de 4.1 GW al cierre de 2011, con un crecimiento anual de 53%. Esta industria instaló 0.96 GW de capacidad en 2011, el 96% en Europa y el resto en China (0.1 GW).

A finales de 2011, al menos 11 países tenían parques eólicos marinos, entre ellos destacan Inglaterra con 2.1 GW, Dinamarca con 0.9 GW y Alemania con 0.2 GW. Al finalizar 2011, alrededor de 5.3 GW de capacidad eólica marina estaba en construcción fuera de las costas de la Unión Europea. China instaló dos proyectos con una capacidad total cercana a los 100 MW, alcanzando 258 MW<sup>18</sup>.

### **Energía eólica en pequeña escala**

En 2010, el uso de turbinas eólicas de pequeña escala superó las 656,000 unidades<sup>19</sup> instaladas (443.3 MW), 26% más respecto al año anterior. La capacidad total instalada ha crecido a una tasa

<sup>17</sup> *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

<sup>18</sup> *Renewables 2011 Global Status Report*, REN21, 2011.

<sup>19</sup> *Small Wind World Report 2012*, *World Wind Energy Association*. De acuerdo a este reporte, la capacidad promedio de cada turbina instalada en China a finales de 2010, fue de 0.37 kW. En Estados Unidos de América y Reino, la capacidad

promedio anual de 35% en el periodo 2001-2011. Este incremento ha sido motivado principalmente por la necesidad de electricidad en áreas rurales, el desarrollo de inversores de bajo costo para interconectarlos a la red eléctrica y por incentivos gubernamentales.

China sigue siendo el mayor mercado para la energía eólica de pequeñas turbinas, aumentando en cerca de 50,000 unidades en 2009 y 2010, para un total en 2011 de 450,000 unidades, con lo cual suman una capacidad total instalada de esta tecnología de 166 MW. Los Estados Unidos de América tiene una ligera ventaja en la capacidad instalada de este tipo de tecnología: el incremento fue de 15% en 2009 y 25% en 2010, para alcanzar una capacidad instalada de 179 MW, con la instalación estimada de 144,000 unidades. Durante 2010 se instaló en este país un estimado de 7,811 unidades, que equivalen a 20 MW de capacidad de estas pequeñas turbinas eólicas; sin embargo, los permisos locales y las leyes de ordenamiento territorial, la falta de incentivos estables y la caída de los precios en los sistemas fotovoltaicos suponen un reto para este sector.

El Reino Unido ha sido históricamente uno de los mercados más grandes para la energía eólica a pequeña escala. En 2009, se instalaron cerca de 4,500 pequeñas turbinas, lo que equivale a 10 MW de nueva capacidad de generación eléctrica. En 2010, la capacidad instalada aumentó 65% respecto al año anterior para alcanzar un total de casi 42.9 MW.

## Bioenergéticos para la generación de electricidad

### Biomasa

La biomasa es una fuente de energía renovable debido a que su contenido energético proviene de la energía solar transformada en los procesos fotosintéticos, la cual se libera al romperse los enlaces de los compuestos orgánicos durante el proceso de combustión, emitiendo bióxido de carbono y agua.

Se encuentra disponible en estado sólido, líquido o gaseoso y puede tener distintas aplicaciones, tales como la generación de energía térmica, la generación de energía eléctrica o el uso directo para la generación de calor; en este último caso el calor específico de la biomasa va a depender del origen de la misma y de su humedad. Sin embargo, la forma más eficiente de utilizar la biomasa es la cogeneración, proceso en el que se aprovecha la electricidad, pero también el calor que se genera como producto secundario, algo que no ocurre en una central eléctrica pura ya que el calor se escapa contaminando térmicamente la atmósfera.

La capacidad de generación eléctrica a partir de biomasa alcanzó los 72 GW en el mundo a finales de 2011. La producción de electricidad a partir de biomasa se incrementó 7% promedio anual durante el período comprendido entre 2000 y 2010, pasando de 101.5 TWh a 196.5 TWh. Al cierre de 2010, Estados Unidos contribuyó con 56.1 TWh de generación de energía – 28.5% de la producción mundial, la producción en 2011 en comparación con el año inmediato anterior incremento ligeramente para alcanzar 56.7 TWh alcanzando una capacidad instalada de 13.7 GW; seguido por la unión Europea (encabezada por Alemania, Suecia y Reino Unido) con 26.2 GW; Brasil, China, India y Japón.

---

de las turbinas instaladas fue de 1.24 kW y 2.0 kW, respectivamente. Durante la última década, el aumento de la capacidad de estas pequeñas turbinas se ha situado en el rango de 10-100 kW.

De igual manera, la capacidad instalada para la producción de energía eléctrica a partir de biomasa sólida está aumentando rápidamente en Europa, donde la producción bruta casi se ha triplicado en la región desde 2001 hasta 2011. Esto se debe al desarrollo de plantas que generan calor y electricidad, conocidas como plantas cogeneradoras. Por ejemplo, Alemania y el Reino Unido están generando cada vez mayores cantidades de electricidad con biomasa sólida, a través de la combustión conjunta con combustibles fósiles.

### Biogás

En los países miembros de la OCDE, el biogás ocupa el tercer lugar dentro de las fuentes renovables de mayor crecimiento para la generación de electricidad. Ésta pasó de 13.1 TWh en 2000 a 47.6 TWh en 2011<sup>20</sup>, con una tasa de crecimiento medio anual del 13%.

Del total de electricidad generada a partir de biogás en el mundo en 2010, que ascendió a 43.6 TWh, Alemania es el país que tuvo una mayor participación (37.3%) en el uso del biogás como fuente para generación de energía eléctrica, generando 16.2 TWh, siendo el mayor productor de la OCDE; seguido por Estados Unidos, con el 22.4%, es decir, 9.8 TWh del total generado a nivel mundial. En tercer lugar está el Reino Unido, con el 13.1% (5.7 TWh), e Italia en el cuarto, con 4.6% (2.0 TWh)<sup>21</sup>.

Durante el año 2011, los rellenos sanitarios para captura de metano en los Estados Unidos produjeron 14.3 TWh de electricidad, suficiente para suministrar a más de 1 millón de hogares. Además, las plantas comerciales de biogás a partir de explotaciones ganaderas generaron más de 0.5 TWh eléctricos en ese mismo año.

Sin embargo, los rellenos sanitarios no son lo más reciente en Europa. La energía generada por este tipo de fuente representó 9% del total de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía, en los países miembros de la OCDE en Europa en el periodo 2001-2011, con una tasa media de crecimiento anual del 14% en el mismo período.

## Energía solar fotovoltaica y termosolar de alta concentración

### Energía solar fotovoltaica

Este tipo de energía genera electricidad en más de 100 países y ha sido la tecnología de generación más dinámica en los últimos años. Entre 2001 y 2011, la capacidad fotovoltaica creció a una tasa anual promedio de 44%. Se estima que se instaló una capacidad de 17 GW conectada a la red durante 2010, totalizando de esta manera 40 GW<sup>22</sup>.

El 2011 fue un año en el que el mercado fotovoltaico registró otro año extraordinario de crecimiento. Casi 30 GW de nueva capacidad solar fotovoltaica entró en operación en el mundo en este año, incrementando la capacidad total instalada mundial en un 74% para alcanzar alrededor de 70 GW. Gran parte de la nueva capacidad se instaló a finales del 2011, motivada por un cambio acelerado en las tarifas, el vencimiento inminente de políticas y una drástica reducción en los precios. La capacidad instalada de energía solar fotovoltaica a finales de 2011 fue 48 veces la

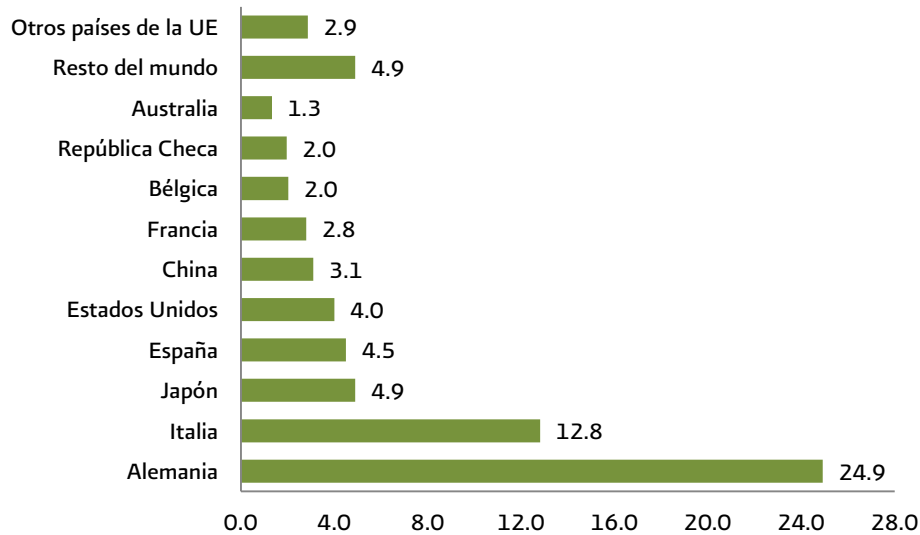
<sup>20</sup> *World Energy Balances, Extended Energy Balances*, IEA, 2012.

<sup>21</sup> *World Energy Balances, Extended Energy Balances*, IEA, 2012.

<sup>22</sup> *Renewables 2010 Global Status Report*, REN21, 2010.

capacidad total instalada diez años antes, y los últimos cinco años la tasa media de crecimiento anual superó el 59% para el período comprendido entre 2007 y 2011.

**Gráfica 6**  
**Capacidad instalada de energía fotovoltaica. Principales países, 2011 (GW)**



Fuente: *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

La Unión Europea volvió a dominar el mercado mundial de energía solar fotovoltaica, gracias a Alemania e Italia, que en conjunto instalaron el 57% de la nueva capacidad en 2011. En 2011, Alemania fue el país que mayor crecimiento registró en instalaciones fotovoltaicas (10.8 GW) alcanzando una capacidad total de 26.2 GW, cifra que supera la capacidad instalada por los demás países el año anterior (Gráfica 6).

En otros continentes, los principales actores fueron China, con 2.1 GW; Estados Unidos, 1.9 GW; Japón, 1.3 GW, y Australia, 0.8 GW. Japón sigue manteniendo el tercer lugar en capacidad instalada a nivel mundial.

En Estados Unidos de América, la caída de los precios combinada con los incentivos, la eliminación del tope de 2,000 dólares en la inversión federal en crédito fiscal y los vencimientos inminentes de las metas del portafolio para energías renovables duplicaron el mercado, con lo que la capacidad instalada alcanzó casi 4 GW. California sigue siendo el mercado más grande de ese país con 29% del total, seguido por Nueva Jersey con 17% y Arizona con 15%.

#### **a) Plantas fotovoltaicas**

La tendencia a gran escala (capacidad mayor a 20 MW) de plantas fotovoltaicas continuó en todo el mundo. Estas instalaciones aportaron 13 GW de capacidad al cierre del 2011, con un incremento de 4 GW durante ese año, representando casi una tercera parte de la capacidad total de esta tecnología a fines de 2011.

La mayoría de estas plantas operan en Alemania, España y los Estados Unidos, aunque, ya se están instalando en Europa, Asia y Medio Oriente, en países como Italia, China, Francia, Corea, Egipto, India, Israel, Malí, Tailandia y Emiratos Árabes Unidos. En Qinghai, China se instaló un sistema de 200 MW, considerado el más grande del mundo hasta el momento. A inicios de 2011, se instaló el sistema a mayor altitud sobre el nivel del mar conectado a la red eléctrica en el Tíbet, con una capacidad de 10 MW; en Kenia se instaló el sistema de mayor capacidad del África subsahariana (0.5 MW).

El interés en la tecnología fotovoltaica de concentración comienza a emerger, durante 2010 y 2011 se instalaron 20 MW conectados a la red eléctrica en todo el mundo, incluidos proyectos demostrativos en el estado de California y en países como Australia, Egipto, Francia, Italia, Jordania, México, España y Sudáfrica. En 2010 fueron anunciados grandes proyectos y se firmaron acuerdos de compra de energía por 0.3 GW con la compañía *Southern California Electric* en Estados Unidos. De estos países, España y Estados Unidos han sido los mercados más grandes hasta la fecha, dónde 10 nuevos proyectos entraron en operación por un total de 12 MW, se espera que al inicio de 2012 entren en operación cerca de 33 MW en todo el mundo. El interés por los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios también aumentó en 2010 y se extendió más allá de los mercados tradicionales de Francia y Alemania, con el mayor proyecto arquitectónico encargado al día de hoy en China.

#### **b) Sistemas fotovoltaicos en pequeña escala**

Estos sistemas representan sólo 2% del mercado mundial, pero las ventas y capacidad total han aumentado constantemente desde principios de los 80, hasta alcanzar 1,400 MW en el año 2011.

En África, Asia y América Latina, se está impulsando el uso de la energía fotovoltaica para mini-red o sistemas interconectados a la red eléctrica, que en muchos casos ya están en la paridad de precios con los combustibles fósiles. Varios cientos de MW fuera de la red se siguen añadiendo en el mundo cada año, tanto en los países en desarrollo, como en los desarrollados.

#### **Energía termosolar de alta concentración**

Las inversiones en nuevas centrales termosolares se reanudaron en 2005, después de experimentar un estancamiento desde principios de la década de los noventa. La capacidad mundial en 2011, ubicada principalmente en Estados Unidos y España fue de 1,760 MW, con un crecimiento promedio anual de 23.8% en el periodo 2001-2011. Esta tecnología aumentó cerca de 740 MW entre 2007 y finales de 2010, en 2011 se incorporaron 507 MW adicionales.

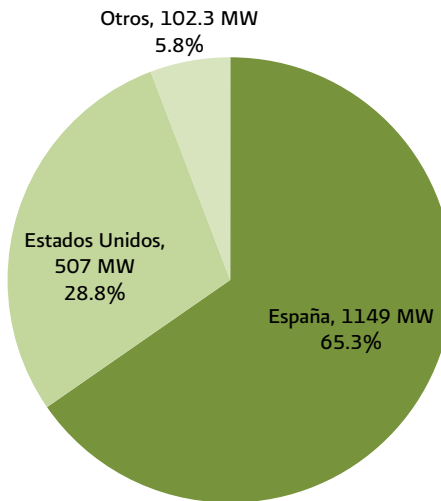
El mercado ha sido dominado por las centrales de colectores de cilindro parabólicos, que representan el 90% de las plantas y casi la totalidad de la capacidad existente en operación.

Los países que mostraron actividad durante 2011 en el desarrollo de proyectos fueron Estados Unidos de América (507 MW), Argelia (25 MW), Tailandia (9.8 MW) y la India (2.5), con lo cual permitieron aumentar la capacidad conectada a la red en 454 MW, alcanzando cerca de 1,760 MW (véase Gráfica 7). Además, se espera que para 2014, Estados Unidos incorpore 8 GW de capacidad adicional, instalada en seis estados.

En México, la CFE adjudicó la construcción de un campo solar de 14 MW integrado al proyecto de ciclo combinado Agua Prieta II, en el estado de Sonora, con apoyo del Fondo para el Medio

Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), el cual se prevé entre en operación en el año 2013.

**Gráfica 7**  
**Capacidad instalada en plantas termosolares. Principales países (España y Estados Unidos), 2011**  
**1,760 MW Totales**



Fuente: *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

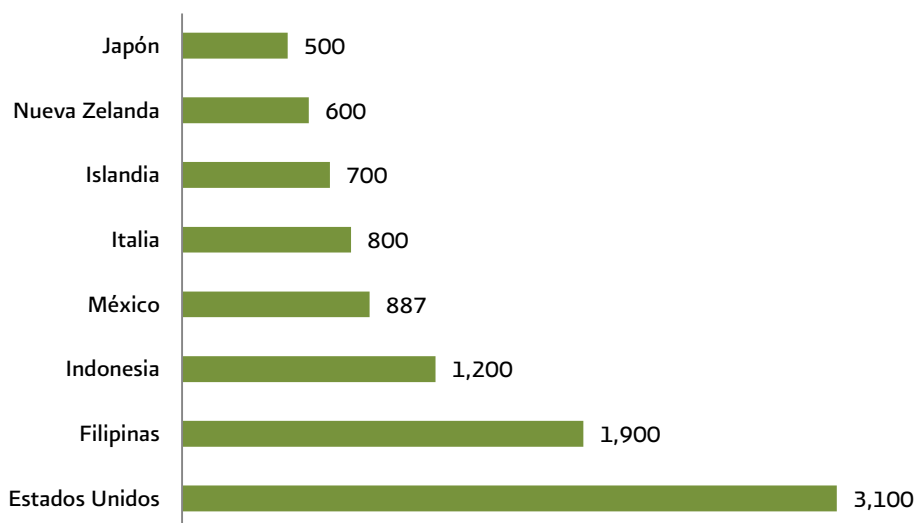
En Abu Dhabi, en los Emiratos Árabes Unidos, comenzó la construcción de una planta de 100 MW comerciales en el año 2010, y se tienen otras en construcción en Argelia, Egipto, y Marruecos (20 MW cada una, acopladas a ciclos combinados de gas natural), de acuerdo con el Plan Solar Mediterráneo. A finales de 2009, fue aprobado un financiamiento para ayudar a aumentar 1 GW la capacidad y transmisión eléctrica en el norte de África en el 2020. El Gobierno marroquí anunció planes para construir 2 GW de plantas termosolares en el mismo período. Respecto a China, a principios de 2010 se firmó un acuerdo para construir al menos 2 GW en el 2020, que comenzará con la instalación inmediata de los primeros 92 MW.

### Geotermia de potencia

Desde 2004, el aprovechamiento de esta fuente de energía y la acumulación de capacidad eléctrica se ha registrado, sobre todo, en Indonesia, Islandia, Nueva Zelanda, Estados Unidos y Turquía. Cabe mencionar que Turquía e Islandia experimentaron un crecimiento de más de 200% cada uno. La capacidad mundial aumentó 3% promedio anual durante el periodo 2001-2011. A finales de 2011, se contaba con aproximadamente 11,200 MW de capacidad geotérmica de generación de electricidad, que produjo más de 69,000 GWh por año<sup>23</sup>. En 2011, México ocupó el cuarto lugar mundial en capacidad instalada con una participación de 7.9% del total mundial, lo que equivale a 887 MW (véase Gráfica 8).

<sup>23</sup> *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

**Gráfica 8**  
**Capacidad de energía geotérmica. Principales países, 2011**  
**(MW)**



Fuente: *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

A finales de 2011, las plantas de energía geotérmica operaron en 24 países y casi 86% de esa capacidad se encuentra concentrada en siete países: Estados Unidos (3,100 MW), Filipinas (1,900 MW), Indonesia (1,200 MW), México (887 MW), Italia (840 MW), Nueva Zelanda (630 MW), e Islandia (580 MW), siendo líder en una base per cápita. Islandia genera alrededor del 25% de su electricidad con energía geotérmica, y Filipinas aproximadamente 18%<sup>24</sup>.

Como el mercado geotérmico continúa ampliándose, se espera un aumento acelerado en el desarrollo de proyectos de plantas geotérmicas en diversos países. A principios de 2010, casi 200 proyectos estaban en marcha en 15 estados de Estados Unidos, lo que podría dar por resultado 7.8 GW de nueva capacidad.

En 2011, estimaciones de la *Geothermal Energy Association*, indican que la generación de energía eléctrica a partir de la geotermia alcanzó 69 TWh<sup>25</sup>. El crecimiento del mercado de la geotermia a nivel mundial registró una modesta expansión, con aproximadamente 136 MW de capacidad adicional instalada en Islandia, Nicaragua y Estados Unidos, llevando la capacidad global a 11.2 GW.

### Hidroeléctricas

La energía hidráulica es la fuente renovable de electricidad más importante y más utilizada en el mundo, registrando 970 GW de capacidad de generación eléctrica en 2011. El crecimiento de centrales hidroeléctricas en el periodo 2001-2011 ha sido del 3% anual.

<sup>24</sup> *Survey of Energy Resources*, World Energy Council, 2010.

<sup>25</sup> *Annual US Geothermal Power Production and Development Report*, Geothermal Energy Association (GEA), Washington, DC, Abril 2012.

China es el productor más importante de energía hidroeléctrica, seguido por Brasil, Estados Unidos, Canadá y Rusia. La mitad de la capacidad hidroeléctrica se concentra en estos cinco países ubicados en diferentes regiones del mundo: China (22%), Brasil, Estados Unidos, Canadá y Rusia, con 8% de participación cada uno. El resto de la capacidad instalada se concentra en países de Europa (Suecia, Francia, Italia, España, Austria, Suiza, Alemania y Rumania), que en su conjunto representan el 13% de la capacidad instalada; los países asiáticos por su parte aportan 8% de la capacidad (India, Japón, Pakistán, Vietnam, Indonesia); por su parte los países de América Latina aportan el 7% (Venezuela, Paraguay, Colombia, México, Argentina, Chile y Perú).

En 2011 se añadieron 25 GW de capacidad instalada, con lo que la capacidad mundial de generación hidroeléctrica alcanzó un estimado de 970 GW, a finales de 2011, motivado principalmente por la construcción de nuevas centrales de generación en China, Vietnam, India, Brasil y Canadá.

Se estima que aproximadamente dos tercios del potencial hidroeléctrico económicamente viable queda aún por desarrollar. La energía hidráulica no aprovechada es todavía muy abundante en América Latina, África Central, India y China.

Este tipo de energía juega un papel importante en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Hay estimaciones que indican, que si se desarrollara la mitad del potencial de energía hidráulica económicamente viable se podrían reducir alrededor de 13%<sup>26</sup> de dichas emisiones. Sin embargo, la construcción de grandes presas incluye el necesario desplazamiento de la población y una importante degradación del ecosistema.

Actualmente, la central hidroeléctrica más grande del mundo, la Presa de las Tres Gargantas, se encuentra en el cauce del río Yangtsé, en China, y cuenta con una capacidad instalada de 22,500 MW y se terminó de construir en 2010; la siguiente hidroeléctrica más grande en operación se encuentra en la presa de Itaipú, en el río Paraná, entre Brasil y Paraguay, con una capacidad instalada de más de 14,000 MW. Cabe mencionar que Brasil produce más de 78% de su electricidad con centrales hidroeléctricas.

Adicionalmente, en nueve países, por lo menos 15 proyectos de acumulación de energía hidráulica por bombeo se encuentran en construcción, lo que representa 8.8 GW de nueva capacidad. Su función principal de acumulación de energía hidráulica por bombeo sería la contribución a la gestión del sistema y no la generación eléctrica, por lo que se deberán establecer las señales económicas necesarias para realizar esta función.

La India espera lograr 400 MW de capacidad de bombeo en línea para 2012. En Eskom, Sudáfrica, están en construcción 1,350 MW de acumulación de energía por bombeo que entrará en operación en 2013.

### **Pequeñas, micro y mini hidroeléctricas ( $\leq 30$ MW)**

Muchos países han desarrollado activamente pequeñas centrales hidroeléctricas. En algunas zonas rurales, las pequeñas centrales son de uso frecuente en aplicaciones autónomas o semiautónomas para reemplazar generadores diésel o de otras fuentes de energía a pequeña escala. A finales de 2009, la generación mundial hidroeléctrica en pequeña escala alcanzó un estimado de

<sup>26</sup> 3rd UN World Water Development Report, United Nations, 2009.



60 GW, de los de 980 GW totales. Estados Unidos, registró 10 GW de plantas de pequeña escala, de los 81 GW de su capacidad hidroeléctrica total, sin embargo no se dispone de información estadística consolidada al cierre de 2011 por parte la *IEA* para esta escala de proyectos.<sup>27</sup>

### Energías oceánicas

El agua contenida en los océanos representa el 97% del total de agua que posee el planeta, además de que el 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua de mar. En la actualidad, aproximadamente 3 millones de personas viven a menos de 200 km de alguna costa; sin embargo, la migración puede causar que este número se duplique para el 2025. Los recursos marinos ofrecen un gran potencial de suministro de energía y agua, además de ser fuente de productos del mar.

De acuerdo con diversos estudios<sup>28</sup>, los océanos poseen alrededor de 5,000 GW de potencia de generación, aunque evidentemente sólo resulta factible aprovechar una porción de esta energía. De acuerdo con la OES<sup>29</sup>, existe la posibilidad de desarrollar 748 GW de energía oceánica a nivel internacional en 2050.

Se puede generar electricidad a partir de la energía proveniente del océano mediante cinco formas de aprovechamiento: energía mareomotriz, undimotriz, corrientes marinas, mareotermia y gradiente salino. El potencial teórico mundial de suministro de energía que se estima podrían aportar estas fuentes ronda los 82,950 TWh anualmente, destacando la mareotermia con 53% y undimotriz con 36%, mareomotriz 9%, y el aprovechamiento del gradiente salino 2%.

De acuerdo con la IEA<sup>30</sup>, la energía generada por las tecnologías oceánica, mareomotriz y undimotriz, generó en promedio cada año 560 GWh en el periodo 2000-2010, con una tendencia a la baja de 0.8%. El conjunto de estas tres tecnologías pasó de generar 605 GW en el año 2000 a 558 GW al final del periodo, sin embargo no se dispone de información estadística desagregada de la energía generada por cada tipo de tecnología.

La energía proveniente del océano podría experimentar el crecimiento más rápido de todas las formas de energía renovable durante el período 2010-2035<sup>31</sup>. Se estima que en este período la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables se triplique, con ello se espera generar 9,000 TWh en 2035, suponiendo que las políticas actuales no se modifiquen. Sin embargo, la introducción de políticas tendientes a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar la eficiencia del uso final de energía podría provocar nuevos aumentos en las cuotas de las renovables al 2035 del orden de 11,000 a 14,500 TWh.

### Energía mareomotriz

Sólo algunos lugares en el mundo cuentan con potencial para instalar centrales mareomotrices, entre ellos destacan: Cabo Tres Puntas (Argentina), Kimberleys (Australia), Golfo de Khambat (India), la bahía de Fundy y Frobisher (Canadá), Chansy (Francia) y el Alto golfo de California (México).

<sup>27</sup> *3rd UN World Water Development Report, United Nations, 2009.*

<sup>28</sup> Charlier, R. H. y Justus, J. R., 1993.

<sup>29</sup> *Ocean Energy Systems, IEA, 2011.*

<sup>30</sup> *World Energy Balances, Extended Energy Balances, IEA, 2012.*

<sup>31</sup> *Ocean Energy Systems, IEA, 2011.*

Algunas centrales mareomotrices instaladas en el mundo son: La Rance (Francia), con una capacidad instalada de 240 MW y una altura de marea de 8 metros, y Anápolis Royal (Canadá), con una capacidad instalada de 16 MW y una altura de marea de 10.8 metros. Otros proyectos de explotación incluyen una planta mareomotriz de 20 MW en Nueva Escocia, Canadá, y una planta de energía mareomotriz en Zhejiang, China (3,9 MW).

Después de años de que el desarrollo de esta tecnología estuviera basado en pequeños proyectos piloto, la capacidad mundial de energía oceánica casi se duplicó en el año 2011. Un poco más de 254 MW de esta tecnología a escala comercial, entraron en operación al año pasado, elevando así la capacidad total mundial a 527MW. La gran mayoría de esta capacidad se basa en la energía proveniente de mareas.

Dinamarca, Irlanda, Japón, Reino Unido y Estados Unidos están desarrollando el uso de ésta tecnología. Actualmente se tienen centrales undimotrices en funcionamiento en España, en donde se tienen dos centrales piloto: una en la costa de Santoña (Cantabria), con un sistema de boyas con una capacidad de 296 kW capaces de producir 970MWh al año, y la otra en las costas de Mutriku con capacidad de 300 kW, perteneciente a la provincia de Guipúzcoa (País Vasco); en la Isla de Islay, Escocia (10 MW) y en Portugal (2.25 MW).

El potencial global que se tiene estimado es de 2 TWh anuales<sup>32</sup>, las zonas con mayor potencial por metro de costa para utilizar la energía undimotriz (olas) son las siguientes: el continente Europeo en la zona noroeste, en especial el Mar del Norte; la costa norte del Reino Unido y las costas de Irlanda y Escocia; las costas del Pacífico Norte y las del Pacífico Sur en América del Sur; las costas de Japón, de Asturias y las costas de Aysén y Magallanes en Chile.

En Chile, en el Canal de Chacao, se tienen corrientes muy fuertes que pueden ser aprovechadas para la generación de electricidad; por su parte, México cuenta con dos zonas de alto potencial, la primera en el Golfo de California y la segunda en los litorales de la península de Yucatán.

Los lugares que presentan un alto potencial maremotérmico en el mundo son las zonas de las regiones ecuatoriales y subtropicales; algunos sitios con alto potencial para la instalación de centrales son las regiones insulares del Pacífico y de Puerto Rico. A la fecha, se han instalado centrales maremotérmicas aunque la mayoría ya no están en funcionamiento, como la central de Japón en la Isla Nauru (100 MW), en Hawái la Mini-C.E.T.O (50 MW) y la OTEC 1 (1 MW), la C.E.T.O 1 en el Caribe (1 MW) y en la India (1 MW).

### 1.2.2. Aplicaciones térmicas de las energías renovables

El consumo de energía para usos térmicos representó 44% del consumo de energía final mundial en 2010. De ésta, la proveniente de fuentes de energía renovables se estimó en 27% o 46,710 PJ (1,116 Mtpé) en 2010<sup>33 34</sup>. El suministro de energía para aplicaciones térmicas provenientes de fuentes renovables de energía se estima que registró un crecimiento anual de 2.8% en el período 2001-2011. Las tecnologías usualmente utilizadas en la industria de la calefacción y refrigeración son la biomasa, la energía solar y la geotermia.

<sup>32</sup> Central Energía, 2010.

<sup>33</sup> *World Energy Balances 2012*, IEA, 2010.

<sup>34</sup> La información estadística consolidada de consumo de energía primaria mundial para aplicaciones térmicas por parte de la IEA encuentra disponible hasta el año 2010.

## Bioenergéticos para la generación de calor

### Biomasa

La mayor parte de la energía térmica que se genera de fuentes renovables en el mundo se produce a partir de la biomasa, incluyendo aquella energía que deriva de la combustión de sólidos, líquidos o gases, que a su vez provienen de la biomasa<sup>35</sup>. Ésta se puede clasificar en tradicional y moderna, la primera incluye madera, carbón vegetal, residuos agrícolas y estiércol, para calentar y cocinar; la segunda la conforman pellets y briquetas hechas de madera o residuos agrícolas, así como combustibles líquidos bajos en emisiones, con lo que es posible obtener un uso más eficiente de la energía.

En 2010 se estima que la capacidad de generación de energía térmica para satisfacer las necesidades de calefacción en el mundo fue de 290 GWt, con un crecimiento anual de 7% en el período 2000-2010. Los mercados de calefacción que manejan energía térmica obtenida a partir de la biomasa moderna<sup>36</sup>, se han expandido de forma constante en Europa, sobre todo en países como Francia, Alemania, Suecia, Dinamarca y Finlandia, donde las necesidades de utilizar energía para la calefacción son notables, así como en otras regiones del mundo, países como Rusia y Estados Unidos y China.

En contraste, en los países en vías de desarrollo se utiliza la biomasa tradicional para la producción de energía térmica. El cálculo de las cantidades de energía consumidas no es exacto, pero se estima que su consumo se concentra principalmente en países de Asia, África y América.

Asimismo, es importante señalar que en aquellos países que cuentan con una industria azucarera importante, como Argentina, Australia, Brasil, China, Colombia, Cuba, Guatemala, India, Kenia, Mauricio, México, Filipinas, Tanzania, Tailandia, y Uganda, el bagazo de la caña también se utiliza como biomasa.

### Biogás

La producción de biogás como fuente de energía renovable puede resolver diferentes tipos de problemas ambientales, como la deforestación ocasionada por el uso de leña para cocinar. Los biodigestores, son una tecnología para producir biogás que descontaminan el agua que utilizan y producen abono orgánico. Además, captan metano y óxido nitroso, lo que ayuda a reducir gases de efecto invernadero como el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco responsables de la lluvia ácida, que son producidos y liberados a la atmósfera por la fermentación de la materia orgánica a la intemperie.

Se estima que en 2010 la producción de biogás en el mundo fue de 1,025 PJ de energía, con un crecimiento anual de 13.5%. Dentro de los principales países productores de energía térmica a base de biogás, se encuentran Japón, Estados Unidos de América, Alemania, Italia, Dinamarca, Polonia y Australia. A nivel mundial, la instalación de biodigestores va en aumento; se estima que en China 50 millones de hogares consumen biogás y en India se construyeron durante 2010, 60,000 pequeños biodigestores, para sumar un total de 4.3 millones en ese país.

<sup>35</sup> Estas son llamadas biomásas modernas e incluyen los productos de madera, tales como pellets y briquetas que se han hecho para quemar de manera eficiente el biogás industrial y bioenergéticos líquidos.

<sup>36</sup> Domina la demanda de pellets de biomasa que se están convirtiendo en un combustible cada vez más común, con cerca de 7.5 millones de toneladas consumidas en Europa en 2008. *World Energy Outlook, IEA, 2010.*

### Energía solar térmica de media y baja temperaturas

En 2011, la producción de energía térmica con base en calentadores solares aumentó 27% respecto a 2010, alcanzando cerca de 232 gigawatts de energía térmica (GWt) a nivel mundial. El uso de tecnologías solares para calentamiento de agua se está generalizando en todo el mundo registrando una tasa media de crecimiento anual del 21.3% en el periodo 2001-2011.

En total se instalaron 49 GWt de nueva capacidad de calentadores solares de agua en 2011, de los cuales se estima que el 95.7% fueron colectores solares planos con cubierta y el resto fueron colectores solares sin cubierta destinados para el calentamiento de albercas. En su conjunto se estima que proporcionaron 175.8 TWh<sup>37</sup> (633 PJ) de energía térmica anualmente.

China por sí sola sumó más de 18 GWt, posicionándose como líder mundial con 64.8% de la capacidad total en operación<sup>38</sup>. En la Unión Europea, se instaló la mayor parte de la nueva capacidad adicional en 2011, sin embargo se registraron tasas de crecimiento menores respecto a las observadas en 2009 y 2010, debido principalmente a la desaceleración de la renovación de edificios, motivada por la crisis económica. Después de una caída significativa en 2010, Alemania se mantuvo como el mayor instalador de esta tecnología en Europa, con un crecimiento estable durante 2011, adicionando 0.9 GWt para alcanzar un total de 10.7 GWt al final del año.

### Geotermia de media y baja temperaturas

La energía geotérmica para la producción de calor se utiliza principalmente en el sector residencial, aunque también se emplea en la industria. En 2010, la capacidad instalada de fuentes de calor directo ascendió a cerca de 51 GWt, con una producción anual de aproximadamente 439 terajoules (TJ)<sup>39</sup> (equivalente a 122,000 GWh), durante los últimos diez años, la producción de calor a partir de geotermia ha crecido a un ritmo de 9% anual. En 2011, este mercado continuó su crecimiento alcanzando 58 GWt de capacidad instalada a nivel mundial.

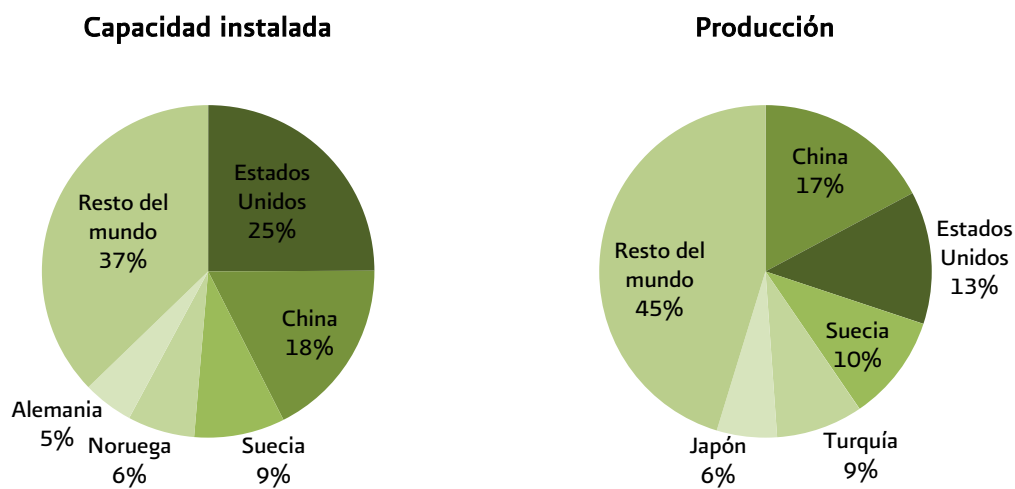
La Gráfica 9 muestra la distribución geográfica de la capacidad instalada y producción de calor geotérmico en el mundo.

<sup>37</sup> Estimaciones de Sener con datos de *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

<sup>38</sup> *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

<sup>39</sup> TJ, equivalente a un billón de joules o julios, unidad que se utiliza para equivalencias energéticas entre energía mecánica, térmica y eléctrica.

**Gráfica 9**  
**Energía geotérmica para usos térmicos. Principales países, 2010**



Fuente: *Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, 2010, John W. Lund.*

En 2010, la fuente de bombas de calor geotérmico aportó 35.5 GWt de capacidad, que representaron alrededor del 70% del uso global de la geotermia directa, y cerca del 50% de calor de aplicación directa (214.8 PJ). Casi el 25% del calor geotérmico directo, se utilizó para aplicaciones de balneología, más de 14% para calefacción (sobre todo para calefacción centralizada en centros urbanos), y el resto para invernaderos, uso industrial, calefacción de estaqués de la acuicultura, secado agrícola, derretimiento de nieve, refrigeración, y otros usos.

### 1.2.3. Aplicaciones de bioenergéticos en el sector transporte

En 2011, la producción mundial de biocombustibles ascendió a 107 miles de millones de litros (MMMl) (véase Cuadro 2), que equivale a 3% del consumo mundial de combustibles del sector del transporte. Los biocombustibles incluyen al etanol (extraído principalmente del maíz y caña de azúcar) y al biodiésel (producido a partir de aceites vegetales). En el caso del etanol, el proveniente del maíz representa más de la mitad de la producción mundial y el derivado de la caña de azúcar, alrededor de una tercera parte. El crecimiento de la producción de biocombustibles a nivel mundial fue de 19.8% en el periodo 2001-2011.

Los biocombustibles contribuyen en pequeña escala, pero de manera creciente, al mercado de combustible en algunos países, y, en otros casos, tienen una contribución muy importante, como en Brasil, donde el etanol derivado de la caña de azúcar sustituye en un 50% a la gasolina como combustible para el transporte.

**Cuadro 2**  
**Producción de biocombustibles en países seleccionados, 2010 y 2011**  
**(Miles de millones de litros, MMMl)**

| País                 | 2010      |           |            | 2011        |             |            | Variación de la producción total en 2011 respecto a 2010 (%) |
|----------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|--|
|                      | Etanol    | Biodiésel | Total      | Etanol      | Biodiésel   | Total      |  |
| Estados Unidos       | 49        | 1.2       | 50.2       | 54.2        | 3.2         | 57.4       | 14.3%  |
| Brasil               | 28        | 2.3       | 30.3       | 21          | 2.7         | 23.7       | -21.8%   |
| Alemania             | 1.5       | 2.9       | 4.4        | 0.8         | 3.2         | 4          | -9.1%  |
| Argentina            | 0.1       | 2.1       | 2.3        | 0.2         | 2.8         | 3          | 30.4%  |
| Francia              | 1.1       | 2         | 3.1        | 1.1         | 1.6         | 2.7        | -12.9%   |
| China                | 2.1       | 0.2       | 2.3        | 2.1         | 0.2         | 2.3        | 0.0%   |
| Canadá               | 1.4       | 0.2       | 1.6        | 1.8         | 0.2         | 2          | 25.0%  |
| Indonesia            | 0.1       | 0.7       | 0.8        | 0           | 1.4         | 1.4        | 75.0%  |
| España               | 0.6       | 1.1       | 1.7        | 0.5         | 0.7         | 1.2        | -29.4%   |
| Tailandia            | 0.4       | 0.6       | 1          | 0.5         | 0.6         | 1.1        | 10.0%  |
| Bélgica              | 0.3       | 0.4       | 0.7        | 0.4         | 0.4         | 0.8        | 14.3%  |
| Países Bajos         | N.D.      | N.D.      | N.D.       | 0.3         | 0.4         | 0.7        | N.D.   |
| Colombia             | 0.4       | 0.3       | 0.7        | 0.3         | 0.3         | 0.6        | -14.3%   |
| Austria              | N.D.      | N.D.      | N.D.       | 0.2         | 0.4         | 0.6        | N.D.   |
| Italia               | 0.1       | 0.8       | 0.9        | 0           | 0.6         | 0.6        | -33.3%   |
| Reino Unido          | 0.2       | 0.5       | 0.7        | N.D.        | N.D.        | N.D.       | N.D.   |
| Polonia              | 0.3       | 0.4       | 0.7        | N.D.        | N.D.        | N.D.       | N.D.   |
| <b>Total mundial</b> | <b>86</b> | <b>19</b> | <b>105</b> | <b>86.1</b> | <b>21.4</b> | <b>107</b> | <b>1.9%</b>  |

Fuente: REN 21, 2012.

## Etanol

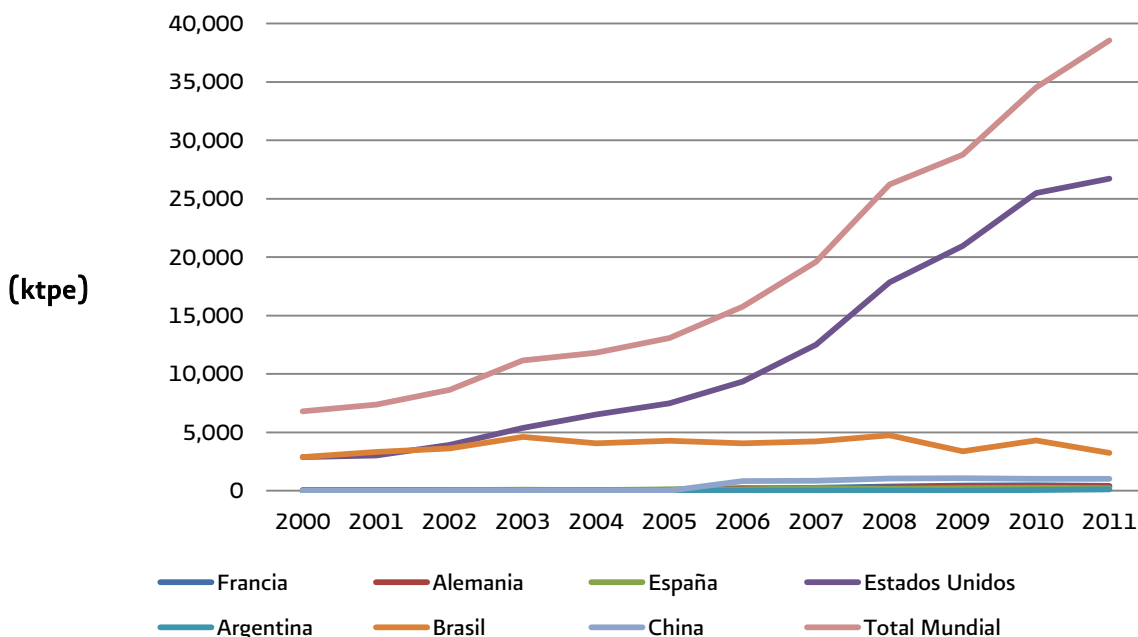
Estados Unidos es el mayor productor de etanol en el mundo, seguido por Brasil<sup>40</sup> y los países que integran la Unión Europea (véase Gráfica 10). A pesar de los continuos aumentos en la producción observados en años anteriores (tmca=18.3% en el periodo 2001-2011), las tasas de crecimiento se desaceleraron considerablemente en el mundo a partir de 2009, y por primera vez desde el año 2000, la producción solo creció 10% en 2009 y en 2010 aumentó 20%. No obstante, la producción de etanol se estimó en 86.1 mil millones de litros en 2011, lo que representó cuatro veces más la producción registrada en 2000.

Para la producción de biocombustibles, denominados de primera generación, se utilizan tecnologías convencionales<sup>41</sup>. Sin embargo, tecnologías de segunda generación, es decir, aquellas en las que se emplean insumos que no compiten con alimentos (residuos de biomasa, como el bagazo) están repuntando y se espera que en los próximos años dominen el mercado.

<sup>40</sup> Estados Unidos y Brasil se consideran los mayores productores de etanol del mundo, representaron el 88% de la producción mundial en 2009. *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

<sup>41</sup> Los biocombustibles considerados como de primera generación son: etanol de caña de azúcar, etanol a base de almidón, el biodiésel, metil éster de ácidos grasos (FAME) y aceite vegetal (SVO).

**Gráfica 10**  
**Producción mundial de etanol, 2000-2011**  
**(ktpe)**



Fuente: *Renewable and Waste Energy Supply*, IEA, 2012; y *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

## Biodiésel

En 2011, la producción mundial de biodiésel fue de 21.4 MMMl, o lo que representa un aumento de 12% con respecto a la producción del 2010. La producción de este combustible ha experimentado una tasa media de crecimiento anual de 49% en el periodo 2001-2011, incrementando 30 veces en este periodo. Estados Unidos aumentó dramáticamente la producción de biodiésel debido a un mandato del gobierno a mediados de 2010, en el que establece a las refinerías mezclar 3.1 mil millones de litros (800 millones de galones) de biodiésel con el diesel de origen fósil en el año 2011 o enfrentar severas multas diarias.

La Unión Europea sigue siendo el principal centro de producción de biodiésel, representa 43% del total de la producción mundial. Sin embargo, su producción en la región ha disminuido considerablemente en los últimos años, registrando en 2011 una declinación del 8%, pasando del 53% en 2010 a 43% en 2011.

Con 3.2 millones de litros de producción de biodiésel, Alemania pasó del primer al segundo lugar a nivel mundial, aun cuando su producción aumentó un 18%, muy cercana a la producción registrada por Estados Unidos, que ocupó el primer lugar. Le siguieron Argentina (2.8 millones de litros), que registró un aumento de 34% en 2010, y Brasil (2.7 millones de litros) con un 12% de incremento. La producción Francia se redujo de 1.9 millones de litros en 2010 a 1.6 millones de litros en 2011 (véase Cuadro 2).

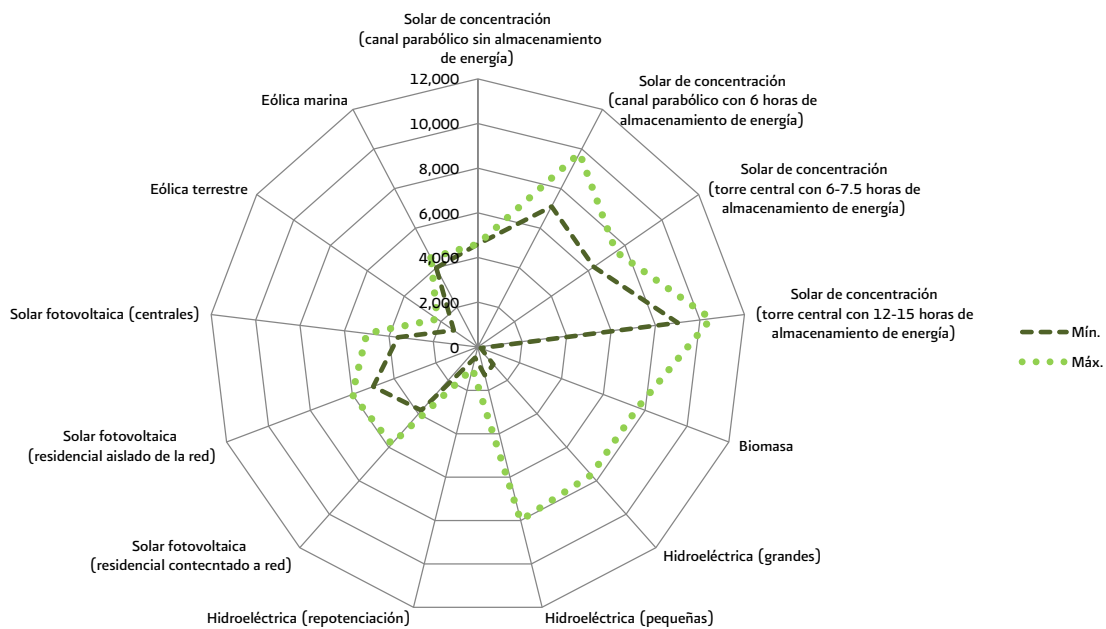
### 1.3. Costos internacionales de las tecnologías de energía renovable

En 2010 y 2011, la mayoría de las tecnologías experimentaron un crecimiento tanto en la fabricación de equipos como en las ventas e instalación. La reducción de los costos de las tecnologías que aprovechan las fuentes renovables de energía ha propiciado altas tasas de crecimiento en la industria manufacturera, en particular en la tecnología solar fotovoltaica; la reducción de costos en las turbinas eólicas y las tecnologías de procesamiento de biocombustibles también contribuyeron en ese sentido.

Al mismo tiempo, hubo una mayor consolidación del sector, especialmente en la industria de la biomasa y biocombustibles, empresas tradicionales que migraron al área de las energías renovables convirtiéndose en empresas más fuertes. Las empresas manufactureras continuaron desarrollando proyectos.

En algunos casos los costos típicos de capital y el costo nivelado de generación para diferentes grupos de tecnologías de energías renovables se han ido acercando cada vez a los de las energías convencionales (ver Gráfica 11 y Gráfica 12).

**Gráfica 11**  
**Costos típicos de instalación de energías renovables<sup>42</sup>**  
**(USD 2010/kW)**

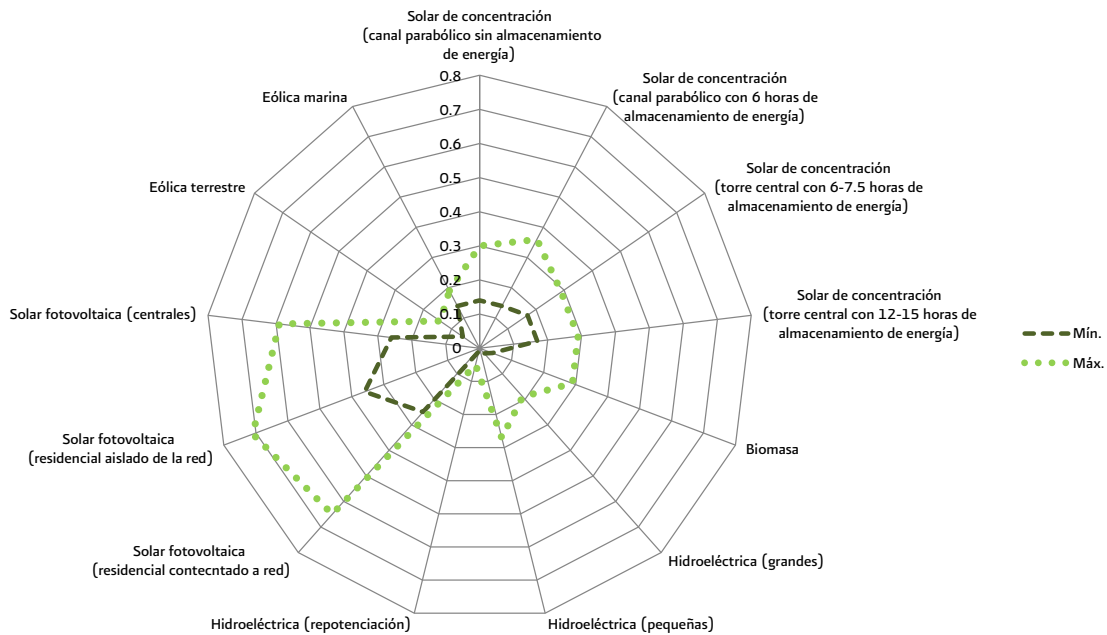


Fuente: SENER, con información de *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*, IRENA, 2012.

<sup>42</sup> Los costos de instalación para las tecnologías que aprovecha la biomasa que se muestran en la gráfica, agrupa diversas tecnologías disponibles en el mercado (planta de caldera/turbina para generación, calderas de lecho fluidizado circulante, gasificadores fijos y de lecho fluidizados, calderas para producción de electricidad y calor, gasificadores de biomasa para producción de electricidad y calor, biodigestores, co-combustión).



**Gráfica 12**  
**Costos nivelados de energía generada típicos a partir de fuentes renovables**  
**(USD 2010/kWh)**



Fuente: SENER, con información de *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*, IRENA, 2012.

En el Anexo 1 de este documento se incluyen las características y costos desagregados de tecnologías de energías renovables por tipo de tecnología y aplicaciones eléctricas, térmicas y biocombustibles en diferentes mercados, para una mejor referencia.

## 1.4. Mercado prospectivo para las fuentes de energía renovables, 2011-2035

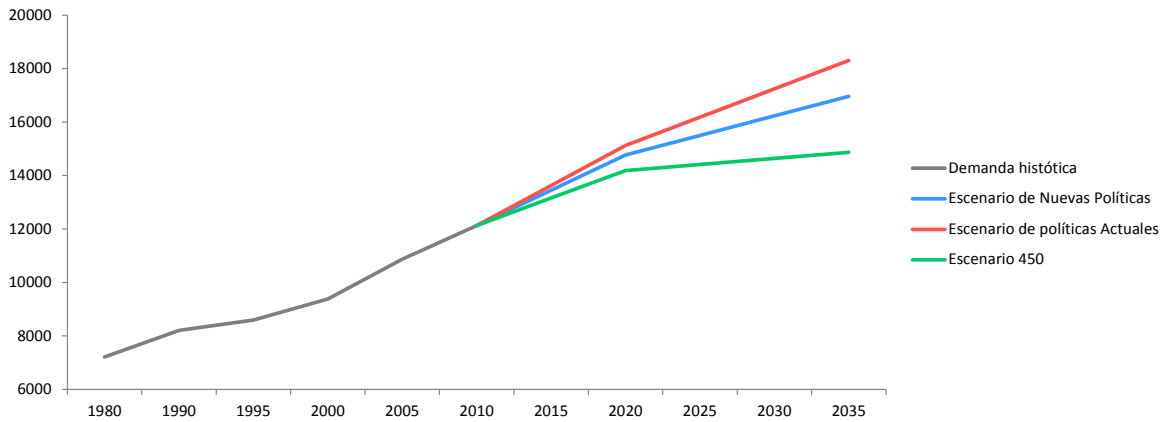
### Resultado de los modelos prospectivos

La IEA en la *World Energy Outlook 2011*<sup>43</sup>, plantea tres escenarios globales para el periodo 2011-2035, en los cuales se evalúan las amenazas y oportunidades en el sistema energético mundial, basándose en el análisis de las tendencias energéticas y climáticas. El análisis incluye un Escenario de Nuevas Políticas, un Escenario de Políticas Actuales y otro Escenario 450 (véase Gráfica 13). El escenario central de la IEA es el Escenario de Nuevas Políticas, en el que se presume que los más recientes compromisos en materia de política energética se aplican de manera prudente aunque no vengán avalados todavía por medidas firmes. El Escenario de Políticas Actuales supone que no se añaden nuevas medidas a las ya instrumentadas a mediados de 2011. Por último el Escenario 450, que parte de la esta internacional tendente a limitar la elevación a largo plazo de la

<sup>43</sup> *World Energy Outlook 2011*, IEA, 2011.

temperatura media global a 2°C por encima de los niveles preindustriales. La gran diferencia entre los resultados de estos escenarios subraya la decisiva función que desempeñan los poderes públicos a la hora de definir y aplicar las medidas necesarias para configurar el futuro energético.

**Gráfica 13**  
**Emisiones para diferentes escenarios de demanda mundial de energía primaria por escenario (Mtep)**



Fuente: *World Energy Outlook 2011*, IEA, 2011.

De acuerdo a los análisis de la IEA hacia el 2035, el nivel de penetración de las energías sería en menor o mayor grado superior al que hoy se dispone 13% a nivel mundial (véase Cuadro 3):

- Escenario 450: 27% de energía renovable respecto al total de la demanda en el año 2035.
- Escenario de Nuevas Políticas: 18% de energía renovable respecto al total de la demanda en el año 2035.
- Escenario de Políticas Actuales: 14% de energía renovable respecto al total de la demanda en el año 2035.

**Cuadro 3**  
**Emisiones con diferentes escenarios de demanda mundial de energía primaria**  
**por tipo de energético y escenario**  
**(Mtep)**

|                     | Demanda histórica |               | Escenario de Nuevas Políticas |               | Escenario de Políticas Actuales |               | Escenario 450 |               |
|---------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | 1980              | 2009          | 2020                          | 2035          | 2020                            | 2035          | 2020          | 2035          |
| Carbón              | 1 792             | 3 294         | 4 083                         | 4 101         | 4 416                           | 5 419         | 3 716         | 2 316         |
| Petróleo            | 3 097             | 3 987         | 4 384                         | 4 645         | 4 482                           | 4 992         | 4 182         | 3 671         |
| Gas Natural         | 1 234             | 2 539         | 3 214                         | 3 928         | 3 247                           | 4 206         | 3 030         | 3 208         |
| Nuclear             | 186               | 703           | 929                           | 1 212         | 908                             | 1 054         | 973           | 1 664         |
| Hidroenergía        | 148               | 280           | 377                           | 475           | 366                             | 442           | 391           | 520           |
| Biomasa y residuos* | 749               | 1 230         | 1 495                         | 1 911         | 1 449                           | 1 707         | 1 554         | 2 329         |
| Otras renovables    | 12                | 99            | 287                           | 690           | 256                             | 481           | 339           | 1 161         |
| <b>Total</b>        | <b>7 219</b>      | <b>12 132</b> | <b>14 769</b>                 | <b>16 961</b> | <b>15 124</b>                   | <b>18 302</b> | <b>14 185</b> | <b>14 870</b> |

\* Incluye usos tradicionales y modernos.

Fuente: *World Energy Outlook 2011*, IEA, 2011.

#### 1.4.1. Evolución esperada de los costos de las tecnologías renovables, 2010-2035

Se prevé que los costos de generación de las tecnologías de energías renovables por unidad de producción continuarán cayendo durante el período de proyección (véase Cuadro 4 y Gráfica 14). La razón principal es el aumento de la participación de las energías renovables en la matriz energética mundial, lo que acelerará el progreso tecnológico y el incremento de las economías de escala en la fabricación de los equipos asociados. Los costos de las tecnologías más maduras, incluida la eólica en tierra y geotérmica, se espera que tengan una caída mínima y la energía hidroeléctrica ya no tendrá grandes cambios en sus costos.

La variación asumida respecto a las curvas de aprendizaje de la tecnología que se presentan en el Cuadro 4 fue utilizada en la Prospectiva Internacional de Energía 2010 por parte de la IEA.

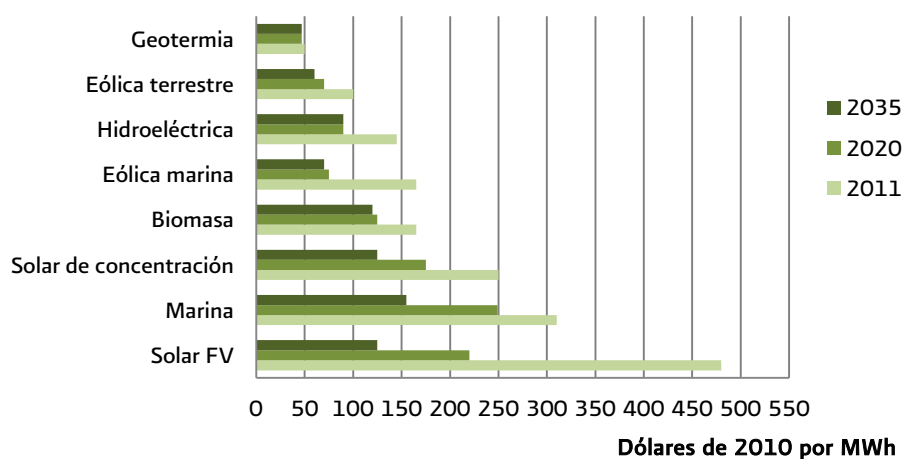
**Cuadro 4**  
**Costos de generación de electricidad basada en energías renovables por tecnología e índices de aprendizaje en el escenario de nuevas políticas**

|                             | Costos de generación         |     |       |                              |     |       | Índice de aprendizaje (%) |
|-----------------------------|------------------------------|-----|-------|------------------------------|-----|-------|---------------------------|
|                             | 2010-2020 (US\$2009 por MWh) |     |       | 2021-2035 (US\$2009 por MWh) |     |       |                           |
|                             | Min                          | Max | Prom. | Min                          | Max | Prom. |                           |
| Grandes hidro               | 51                           | 137 | 94    | 52                           | 136 | 95    | 1%                        |
| Pequeñas hidro              | 71                           | 247 | 143   | 70                           | 245 | 143   | 1%                        |
| Biomasa                     | 119                          | 148 | 131   | 112                          | 142 | 126   | 5%                        |
| Eólica terrestre            | 63                           | 126 | 85    | 57                           | 88  | 65    | 7%                        |
| Eólica maina                | 78                           | 141 | 101   | 59                           | 94  | 74    | 9%                        |
| Geotermia                   | 31                           | 83  | 52    | 31                           | 85  | 46    | 5%                        |
| Solar FV-gran escala        | 195                          | 527 | 280   | 99                           | 271 | 157   | 17%                       |
| Solar FV-edificios          | 273                          | 681 | 406   | 132                          | 356 | 217   | 17%                       |
| Plantas concentración solar | 153                          | 320 | 207   | 107                          | 225 | 156   | 10%                       |
| Marina                      | 235                          | 325 | 281   | 139                          | 254 | 187   | 14%                       |

Fuente: *World Energy Outlook 2010*, IEA, 2010.

Los ritmos en las curvas de aprendizaje se utilizan para representar las reducciones que se producen en los costos de la tecnología como despliegue de aumentos acumulativos. Un ritmo de aprendizaje del 5% implica que el costo de inversión esperado de una tecnología caiga 5% por cada duplicación de la capacidad instalada acumulada.

**Gráfica 14**  
**Costos de generación de electricidad de las tecnologías con energía renovable a gran escala en el escenario de nuevas políticas (USD/MWh)**



Fuente: *World Energy Outlook 2010*, IEA, 2010. *Renewable Energy Technology Cost Analysis Series*, IRENA, 2012.

# Capítulo 2. Marco regulatorio para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables

En este capítulo se presentan los principales cambios legales y normativos en materia de energías renovables, los cuales han permitido el desarrollo de este tipo de fuentes en nuestro país. Las principales leyes derivan de la Reforma Energética, consensuada en 2008, y éstas a su vez, contemplan la emisión de diversos instrumentos regulatorios que fomentan la implementación del uso de energías renovables, además de otorgar certeza jurídica para los interesados en invertir en esta materia.

## 2.1. Marco regulatorio básico para las energías renovables

Para el éxito de una política energética de largo plazo, que prevea el desarrollo de energías renovables, es indispensable contar con un marco regulatorio en materia de energía actualizado, que estimule la inversión en nuevas tecnologías y que garantice el desarrollo del país.

En este sentido, México ha tomado distintas medidas para fomentar las energías renovables, con la finalidad de diversificar las fuentes de generación como una forma de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático y contribuir a la seguridad energética del país. Algunas de estas medidas incluyen el desarrollo de políticas, leyes, reglamentos y normativa, siendo los principales ordenamientos legales aplicables a las energías renovables, los siguientes:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.

Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo.

Ley de Petróleos Mexicanos.

Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

Ley de la Comisión Reguladora de Energía.

Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.

Ley de Desarrollo Rural Sustentable.

Ley de Energía para el Campo.

Ley del Impuesto sobre la Renta.

Ley Federal de las Entidades Paraestatales.

Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.

Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en Materia de Aportaciones.

Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Reglamento de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales.

Reglamento Interior de la Secretaría de Energía.

A pesar de que siguen siendo una pequeña parte de la generación total de energía, el uso de energías renovables como la eólica, solar y biomasa, se ha incrementado rápidamente en los últimos años.

## 2.2. Marco constitucional

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos contiene en sus artículos 4o, 27 y 28, varios preceptos en los que el uso y aprovechamiento de las energías renovables y no renovables se sustentan, como el derecho a un medio ambiente adecuado (artículo 4º); así como la rectoría que le corresponde al Estado del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable y que fortalezca la Soberanía Nacional. También, el derecho que se otorga a la Nación de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación (artículo 27), con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana; y la necesidad que se establece de asegurar la eficacia de la prestación de los servicios y la utilización social de los bienes.

## 2.3. Leyes relacionadas con el aprovechamiento de las energías renovables

### 2.3.1. Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)

El 28 de noviembre del 2008, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la LAERFTE. Esta ley tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías

limpias para la generación de electricidad “con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética”.

Con base en la LAERFTE, la Secretaría de Energía (SENER) elaboró el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de agosto del 2009, el cual contempla las metas en materia de energías renovables y las acciones para alcanzarlas.

Estas metas contemplan impulsar el desarrollo de la industria de energías renovables en México, para alcanzar 7.6% de capacidad instalada mediante fuentes de energía renovable (eólica, mini hidráulica, geotérmica, biomasa y biogás); ampliar el portafolio energético del país a través del incremento del porcentaje de generación eléctrica mediante energías renovables para alcanzar el cierre de 2012, entre el 4.5 y 6.6%; y ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades rurales utilizando energías renovables.

Para cumplir con estos objetivos, el Programa contempla acciones concretas como son:

- Fomento a la información
- Elaboración de mecanismos para el aprovechamiento de fuentes de energía renovable
- Electrificación utilizando fuentes renovables
- Desarrollo y promoción
- Infraestructura y regulación
- Investigación y desarrollo tecnológico

Por otro lado, la LAERFTE le otorga a la Comisión Reguladora de Energía (CRE) facultades en materia de fuentes renovables, como la de expedir las normas, directivas, metodologías y demás disposiciones de carácter administrativo que regulen la generación de electricidad a partir de energías renovables; establecer, previa opinión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y de la SENER, los instrumentos de regulación para el cálculo de las contraprestaciones por los servicios que se presten entre sí los Suministradores y los Generadores de electricidad a partir de energías renovables; solicitar al Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) la adecuación de las reglas de despacho para garantizar el cumplimiento de la LAERFTE; así como expedir las reglas generales de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional que le deberán proponer los Suministradores, escuchando la opinión de los Generadores.

Para lograr la implementación y uso de las energías renovables, el Reglamento de la LAERFTE impone distintas obligaciones a la SENER para la promoción de las fuentes de energía renovables, mediante programas, políticas públicas, evaluación de costos, fomento al desarrollo social; así como la regulación de licitaciones de proyectos de energías renovables.

Es importante mencionar que el 1° de junio de 2011 se publicó un decreto de reforma a la LAERFTE, en dónde se incluyó que, para efectos de la fracción III de su artículo 11°, la SENER fijará como meta una participación máxima de 65 por ciento de combustibles fósiles en la generación de

energía eléctrica para el año 2024, del 60 por ciento en el 2035 y del 50 por ciento en el 2050. Dichas metas quedaron expresadas en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, lo cual permitirá a la SENER prever los escenarios de planeación de acorde a lo estipulado en la LAERFTE para cumplir con la meta.

Además, el 12 de enero de 2012 se publicó el decreto que reforma la fracción II del artículo 1° de la LAERFTE, acotando las condiciones para incluir a proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW en la definición de energía renovable. De acuerdo a esta reforma, se incluyen dentro de la regulación de esta Ley los siguientes casos:

- a) Almacenamientos menores a 50 mil m<sup>3</sup> de agua o que tengan un embalse con una superficie menor a 1 hectárea y que no rebasen dicha capacidad de almacenamiento.

Ésta se refiere a embalses ya existentes, aún de una capacidad mayor, que sean aptos para generar electricidad.

### 2.3.2. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)

La LPDB es reglamentaria de los artículos 25° y 27°, fracción XX de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y se publicó en el DOF el 1° de febrero del 2008. Esta Ley tiene por objeto la promoción y desarrollo de los Bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permitan garantizar el apoyo al campo mexicano, estableciendo las bases para promover la producción de insumos para los Bioenergéticos; desarrollar la producción, comercialización y uso eficiente de los Bioenergéticos; promover el desarrollo regional y el de las comunidades rurales menos favorecidas; procurar la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y gases de efecto invernadero, y coordinar las acciones entre los distintos niveles de gobierno, así como la concurrencia con los sectores social y privado para el desarrollo de los Bioenergéticos. Su aplicación corresponde al Ejecutivo Federal, a través de la SENER, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el ámbito de sus competencias.

De esta manera, la SAGARPA cuenta con facultades para la producción y comercialización de insumos; la SENER con facultades para otorgar y revocar permisos para la producción, el almacenamiento, el transporte y la distribución por ductos; así como la comercialización de Bioenergéticos, junto con la elaboración de los programas sectoriales y anuales relativos a dichas actividades. Por último la SEMARNAT cuenta con facultades para evaluar, y en su caso autorizar en materia de impacto ambiental, las instalaciones para la producción, el almacenamiento, el transporte y la distribución y la comercialización de bioenergéticos, entre otras.

Esta Ley instruye la creación de la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos, integrada por la SAGARPA, SENER, SEMARNAT, la Secretaría de Economía y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Esta Comisión tiene como principales funciones las de participar en la elaboración de programas de corto, mediano y largo plazos relacionados con la producción y comercialización de insumos, y con la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución, la comercialización y uso eficiente de Bioenergéticos. Asimismo, da seguimiento a estos programas; establece las bases y lineamientos para la suscripción de acuerdos o convenios de coordinación con otros niveles de gobierno, para dar cumplimiento a la LPDB y promueve la



coordinación de acciones entre las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal con los diversos sectores productivos del país, en lo relativo a la producción y comercialización de insumos; así como con la producción, el almacenamiento, el transporte, la comercialización y uso eficiente de los Bioenergéticos.

El 18 de junio del 2009, se publicó en el DOF el Reglamento de la LPDB y el 13 de noviembre de ese mismo año se publicaron los Lineamientos para el otorgamiento de permisos para la producción, el almacenamiento, el transporte y la comercialización de bioenergéticos del tipo etanol anhidro y biodiésel, junto con los formatos de solicitudes de permisos.

### **2.3.3. Ley de Aguas Nacionales (LAN)**

Esta Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, ya que sus disposiciones son de orden público e interés social. Tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control; así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

La reforma al Artículo 120 del Reglamento de esta Ley (DOF, 24/05/2011) establece que no se requerirá concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de agua, en los términos del Artículo 80º de la Ley, cuando sea para generación de energía hidroeléctrica en pequeña producción o escala, entendida como tal, aquella que realizan personas físicas o morales aprovechando las corrientes de ríos y canales, sin desviar las aguas ni afectar su cantidad ni calidad, y cuya capacidad de generación no exceda de 30 MW.

### **2.3.4. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto**

De acuerdo con la legislación mexicana, los tratados y convenios internacionales que son aprobados por el Senado de la República crean obligaciones vinculantes que están por encima de las leyes generales, inmediatamente por debajo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En este sentido, nuestro país es signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante la cual México se compromete a “formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático [...]”.

Derivado de las negociaciones de la CMNUCC, en 1997 se elaboró el Protocolo de Kioto, el cual tiene como finalidad regular los niveles de emisiones de GEI mediante distintos mecanismos y reglas, según el tipo de país de que se trate. Este protocolo estableció un instrumento denominado Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), mediante el cual países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de GEI dentro de países en desarrollo, por ejemplo México, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones (instrumento también derivado del Protocolo), los cuales pueden ser usados por los países desarrollados para cumplir con sus compromisos de reducción acordados.

Para registrar proyectos MDL es necesaria una carta de aprobación emitida por la Autoridad Nacional Designada (AND), en México esa autoridad recae en el Secretariado de la Comisión

Intersecretaral de Cambio Climático (CICC), ejercida por la SEMARNAT. México tiene ante el mundo un papel importante al participar en acciones que contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero como se aprecia en el Cuadro 5.

Es importante agregar que estos proyectos generan Reducciones Certificadas de Emisiones o bonos de carbono (CER por sus siglas en inglés), los cuales son comercializables en un mercado internacional de carbono.

**Cuadro 5**  
**Participación de México en el Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL)**  
**Junio, 2012**

| Participación en:                            | México     | Participación respecto al volumen global (%) |
|--|------------|--|
| Certificados de reducción de emisiones (CER) | 12,694,175 | 1.32%  |
| No. Proyectos                                | 144        | 3.28%  |

\*Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e).

Fuente: *Clean Development Mechanism (CDM), United Nations Framework Convention on Climate Change. (UFCCC).*

### 2.3.5. Leyes estatales en materia de energías renovables

Por lo menos nueve estados de la República Mexicana cuentan actualmente con una legislación en materia de energías renovables como se describe en el Cuadro 6. No todos los ordenamientos son especializados en la materia, pero en algunas leyes de coordinación, desarrollo económico y ambientales se prevé el aprovechamiento y uso de energías renovables. Se espera que estas iniciativas se vayan multiplicando para facilitar las tareas de la política pública federal, y alcanzar los objetivos fijados en materia de desarrollo económico, reducción de emisiones, seguridad energética y cambio climático.

**Cuadro 6**  
**Leyes estatales relacionadas con energías renovables**

| Estado          | Leyes   |
|-----------------|---|
| Chiapas         | Ley ambiental para el estado de Chiapas, Ley orgánica del Instituto de Energías Alternativas, Renovables y Biocombustibles del estado de Chiapas. |
| Oaxaca          | Ley de Coordinación.  |
| Sonora          | Ley de Fomento de Energías.   |
| Durango         | Ley para el fomento, uso y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía del estado de Durango y sus municipios.                           |
| Coahuila        | Ley de uso racional de energía en Coahuila.   |
| Morelos         | Ley de desarrollo económico sustentable del estado libre y soberano de Morelos.   |
| Quintana Roo    | Ley de desarrollo económico y competitividad para el estado de Quintana Roo.  |
| Nuevo León      | Ley de desarrollo rural integral sustentable del estado de Nuevo León.  |
| Baja California | Ley de Energías Renovables.   |

Fuente: CONUEE y páginas electrónicas de gobiernos de los estados.

## 2.4. Principales atribuciones de la Secretaría de Energía en materia de energía renovable

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal en su Artículo 33°, fracciones V y XI, establece como atribuciones de la SENER:

*" V. Llevar a cabo la planeación energética a mediano y largo plazos, así como fijar las directrices económicas y sociales para el sector energético paraestatal.*

*La planeación energética deberá atender los siguientes criterios: la soberanía y la seguridad energética, el mejoramiento de la productividad energética, la restitución de reservas de hidrocarburos, la reducción progresiva de impactos ambientales de la producción y consumo de energía, la mayor participación de las energías renovables en el balance energético nacional, la satisfacción de las necesidades energéticas básicas de la población, el ahorro de energía y la mayor eficiencia de su producción y uso, el fortalecimiento de las entidades públicas del sector energético como organismos públicos, y el apoyo a la investigación y el desarrollo tecnológico nacionales en materia energética";*

*" XI. Regular y promover el desarrollo y uso de fuentes de energía alternas a los hidrocarburos, así como proponer, en su caso, los estímulos correspondientes".*

## 2.5. Planes y programas

### Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012 establece al Desarrollo Humano Sustentable como su principio rector. El PND retoma los postulados del Informe Mundial sobre Desarrollo Humano de 1994, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de acuerdo con los cuales

*"el propósito del desarrollo consiste en crear una atmósfera en que todos puedan aumentar su capacidad y las oportunidades puedan ampliarse para las generaciones presentes y futuras".*

En el PND se hace referencia a las energías renovables en dos de sus ejes, el eje 2 "Economía competitiva y generadora de empleos", y el eje 4 "Sustentabilidad ambiental". Para el primero su objetivo principal se enfoca en la calidad, seguridad y costos del suministro de los insumos energéticos a los consumidores y promueve, dentro de sus estrategias, el uso de fuentes renovables de energía. El segundo plantea la reducción de GEI mediante el impulso de tecnologías renovables para la generación de energía.

### **Programa Sectorial de Energía 2007-2012**

En congruencia con los objetivos y estrategias plasmados en el PND 2007-2012, el Programa Sectorial de Energía 2007-2012, plantea, entre sus objetivos, equilibrar el portafolio de fuentes primarias de energía, promover el uso de fuentes renovables de energía y biocombustibles, y mitigar el incremento en las emisiones de GEI. Para el logro de dichos objetivos, el PROSENER, establece estrategias y líneas de acción, a mediano plazo.

### **Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables**

Publicado en agosto de 2009 en el DOF, derivado del mandato de la LAERFTE, establece metas cuantificables para la incorporación de fuentes de energías renovables a la matriz energética nacional. El Programa se alinea a las estrategias y objetivos generales del Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Sectorial de Energía y del Programa Nacional de Infraestructura vigentes. Dentro de sus estrategias se tiene el fomento, desarrollo, promoción e investigación de las fuentes renovables de energía, así como la expedición de normas y elaboración de metodologías que regulen la generación de electricidad a partir de energías renovables.

#### **Misión:**

Propiciar la seguridad y la diversificación energética, estableciendo políticas públicas para la incorporación de las energías renovables a la matriz energética nacional, conciliando las necesidades de consumo de energía de la sociedad con el uso sustentable de los recursos naturales.

#### **Visión:**

Que los mexicanos de esta generación y principalmente, los mexicanos de las próximas generaciones, puedan aprovechar las fuentes renovables de energía, con el fin de mitigar los efectos del cambio climático y contribuir al desarrollo económico y social del país, bajo criterios de sustentabilidad.

Para cumplir con las metas planteadas de capacidad de generación eléctrica, el Programa asume que se podrá disponer de los recursos generados por las Reducciones Certificadas de Emisiones por proyectos MDL.

### **Programa para la Promoción de Calentadores de Agua en México (PROCALSOL)**

El Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (PROCALSOL) fue diseñado e implantado por la CONUEE, en colaboración con la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ, por sus siglas en alemán) y la Asociación Nacional de Energía Solar, A.C. (ANES). Su objetivo es ampliar el mercado de calentadores solares de agua en los sectores residencial, comercial, industrial y agronegocios en México. Busca garantizar el nivel de calidad en los productos y servicios, favorecer el desarrollo de la industria nacional y promover la adaptación de tecnología desarrollada por los centros de investigación nacionales. La meta principal del PROCALSOL es tener instalados para el 2012, un millón ochocientos mil metros cuadrados de calentadores solares de agua, mediante líneas de acción en materia de regulación, financiamiento e incentivos económicos, información y gestión.

### **Programa de Hipoteca Verde de INFONAVIT**

Este programa consiste en otorgar un crédito adicional al monto del crédito hipotecario otorgado por parte de INFONAVIT para que el derechohabiente pueda comprar una vivienda que cuente con tecnologías ecológicas que le permitan disminuir el consumo de energía eléctrica, agua y gas, contribuyendo, con ello, al ahorro económico de los mismos.

### **Proyecto Servicios Integrales de Energía**

El Proyecto Servicios Integrales de Energía tiene como objetivo dotar del servicio de energía eléctrica a comunidades rurales remotas, que por su alto grado de dispersión y escaso número de viviendas por comunidad difícilmente serán integradas a la red eléctrica nacional, mediante sistemas de energía renovable<sup>44</sup> durante el período 2009 – 2013. La energía eléctrica podrá ser destinada, tanto para consumo doméstico, como para detonar actividades productivas asociadas a la electrificación, que permitan incentivar el crecimiento y el desarrollo económico en dichas comunidades, así como el incremento poblacional.

La CFE cuenta con un programa denominado “Luz para México”, en el que se han identificado 704 localidades de entre 100 y 2,499 habitantes, susceptibles a ser electrificadas durante 2011 y 2012, de las cuales 86 serían electrificadas a través de energías renovables en los estados de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nayarit y Oaxaca. El Proyecto Servicios Integrales de Energía representa una de las fuentes de financiamiento de este programa en su componente renovable.

### **Programa de Introducción de Etanol Anhidro**

El objetivo general de este programa es asegurar la introducción de etanol anhidro en la matriz energética nacional y establecer las condiciones necesarias para la creación de un mercado nacional, mediante estrategias dirigidas a generar certidumbre en el mercado, propiciar la creación y desarrollo de cadenas productivas en torno al etanol anhidro y fomentar la vinculación entre los diversos sectores involucrados; así como la investigación y el desarrollo tecnológico.

<sup>44</sup> Se plantea que la electrificación se lleve a cabo mediante granjas solares, aunque se prevé utilizar fuentes de energía renovables diferentes a la solar en aquellas localidades donde resulten más costo-eficientes.

De dicho objetivo general se desprenden los siguientes objetivos particulares:

- Fomentar, de manera estrecha y coordinada, la colaboración entre los sectores público, privado y social, involucrados en la cadena de producción, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de etanol anhidro.
- Introducir etanol anhidro en la matriz energética con base en metas realistas, que permitan diversificar las fuentes primarias de energía y salvaguardar la seguridad alimentaria del país;
- Fomentar la producción de insumos para etanol anhidro;
- Crear nuevas fuentes de trabajo y aumentar el ingreso de las comunidades que habitan en las zonas rurales relacionadas con la producción, el almacenamiento, el transporte y la comercialización de etanol anhidro, y

Promover el desarrollo sustentable del país, mediante la creación de sistemas de energía compatible y amigable con nuestro entorno.

## 2.6. Estrategia Nacional de Energía 2012-2026

Fue enviada al Congreso de la Unión en febrero de 2012, con fundamento en el último párrafo de la fracción VI del Artículo 33° de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. La Estrategia fue elaborada con la participación del Consejo Nacional de Energía. Cuenta con tres ejes rectores que son:

- Seguridad energética
- Eficiencia económica y productiva
- Sustentabilidad ambiental

A partir de estos Ejes Rectores se han establecido nueve objetivos que pretenden asegurar que el sector energético evolucione hacia una operación segura, eficiente y sustentable, que responda a las necesidades energéticas y de crecimiento económico y desarrollo social del país. Dentro de sus nueve objetivos destacan los siguientes relacionados con las tecnologías limpias:

- Diversificar las fuentes de energía, dando prioridad al incremento en la participación de tecnologías no fósiles (objetivo 2).
- Reducir el impacto ambiental del sector energético (objetivo 4).

Asimismo, en la Estrategia Nacional de Energía se establece la meta de incrementar la participación de energías limpias en la de generación eléctrica a 35% del total para el 2026.

## 2.7. Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTE)

De acuerdo con lo estipulado en la LAERFTE, la SENER diseñó la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, siendo ésta un mecanismo con el cual se impulsan las políticas, programas, acciones y proyectos, para aumentar la participación de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias, promover la eficiencia y sustentabilidad energética y disminuir la dependencia a los hidrocarburos como fuente primaria de energía. Para impulsar el cumplimiento a los objetivos de la Estrategia, se creó el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

La Estrategia tiene como objetivos principales la utilización, el desarrollo y la inversión en materia de energías renovables y la eficiencia energética. Coadyuvando de esta forma a cumplir los objetivos, estrategias y acciones del PND y el Programa Sectorial de Energía.

## 2.8. Regulación para el aprovechamiento de las energías renovables

El marco regulatorio vigente cuenta con instrumentos aplicables para regular y fomentar el aprovechamiento de las fuentes de energías renovables y el uso de las diferentes tecnologías limpias.

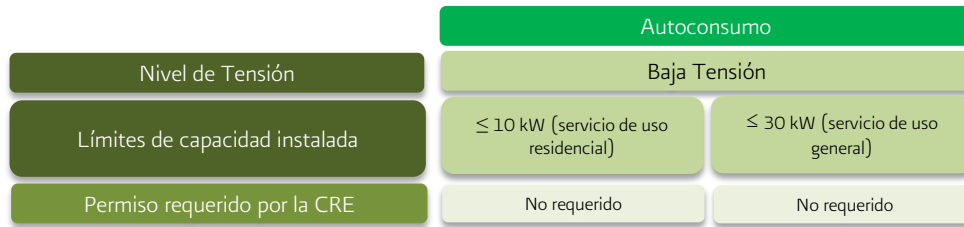
### 2.8.1. Regulación para generación de energía eléctrica

A partir de las atribuciones conferidas por la LAERFTE, la CRE desarrolló e implantó una regulación específica para fuentes renovables de energía y publicó convenios y modelos de contratos para regular la generación de energía según la capacidad:

- Contrato de interconexión para fuentes de energía renovable y sistemas de cogeneración en pequeña escala (publicado el 8 de abril de 2010 en el DOF)
- Contrato de interconexión para fuentes de energía renovable y sistemas de cogeneración en mediana escala (publicado el 8 de abril de 2010 en el DOF)
- Contrato de interconexión para centrales de generación eléctrica con energía renovable o cogeneración eficiente (publicado el 28 de abril de 2010 en el DOF)
- Contrato de interconexión para fuente de energía hidroeléctrica (publicado el 20 de abril de 2010 en el DOF).

Los contratos están en función de las siguientes escalas:

- Pequeña escala. Para usuarios con servicio de uso residencial con una potencia máxima de 10 kW. Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión con capacidad de hasta 30 kW.



- Mediana escala. Para usuarios con servicio de uso general con una potencia máxima de 500 kW.



- Gran escala. Permisarios de generación de energía eléctrica sin límite de potencia máxima, donde se requiere del porteo a sus cargas, un permiso de generación y la venta de energía sobrantes.

### Modelos de contratos y convenios para fuentes de energía renovable y cogeneración eficiente utilizados por los permisionarios

#### Contrato de interconexión para centrales de generación de energía eléctrica con energía renovable o cogeneración eficiente.

Este modelo de contrato tiene por objeto realizar y mantener, durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional y la fuente de energía renovable o de cogeneración eficiente del permisionario. Este instrumento regulatorio, reconoce las características específicas de cada tecnología, con el propósito de que los costos en que se incurra con dichos proyectos resulten competitivos, a través de procesos eficientes en la generación a partir de energía renovable.

#### Contrato de interconexión para fuente de energía hidroeléctrica

Mediante este contrato se regula la interconexión entre el SEN y la fuente de energía hidroeléctrica del permisionario para proyectos de escalas mayores que 30 MW.

### Modelos de contratos y convenios para fuentes de energía renovable y cogeneración eficiente utilizados por generadores que no requieren permiso de generación

#### Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala

Este contrato es aplicable sólo a los generadores con fuente de energía renovable y a los generadores con sistema de cogeneración en pequeña escala con capacidad de hasta 30 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones inferiores a 1 kV, y que no requieren



hacer uso del sistema del suministrador para portear energía a sus cargas. En caso de que existan excedentes de electricidad, el particular puede intercambiar energía con la empresa eléctrica, compensándola contra el consumo en otros momentos.

#### **Contrato de compromiso de compraventa de energía eléctrica para el pequeño productor en el Sistema Interconectado Nacional**

Este contrato se aplica a cualquier proyecto de pequeña producción (proyectos que generan electricidad exclusivamente para su venta a la red eléctrica y con una capacidad menor que 30 MW), y ofrece aquellos que utilizan energías renovables un beneficio en los pagos.

#### **Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en mediana escala**

Este contrato es aplicable sólo a los generadores con fuente de energía renovable y a los generadores con sistema de cogeneración en mediana escala con capacidad de hasta 500 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones mayores que 1 kV y menores que 69 kV, y que no requieren hacer uso del sistema del suministrador para portear energía a sus cargas.

La potencia máxima por instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor que la carga contratada con el suministrador y estará limitada hasta cierto número de kW. Para los casos en que se tenga energía sobrante en cualquier período horario, ésta puede ser acumulada por CFE en un banco de energía y se entregará en períodos horarios posteriores en el siguiente mes o en un lapso de doce meses, iniciando con el período de punta en diferentes días y horarios. Asimismo, el intercambio de energía será al precio de tarifa en el punto de interconexión al SEN.

Al segundo semestre de 2011, la capacidad total de los proyectos registrados bajo estos instrumentos fue 4.75 MW (véase Cuadro 7).

**Cuadro 7**  
**Informe de proyectos de pequeña y mediana escalasal 31 de diciembre de 2011**  
**(kW)**

|                        | Capacidad instalada por División de CFE, (kW) |                          |                         |                         |
|------------------------|---|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                        | Biogás en mediana escala                      | Eólica en pequeña escala | Solar en mediana escala | Solar en pequeña escala |
| Baja California        |   |                          | 80                      | 181.94                  |
| Bajío                  |   |                          |                         | 447.19                  |
| Centro Occidente       |   |                          |                         | 42.7                    |
| Centro Oriente         |   |                          |                         | 99                      |
| Centro Sur             |   |                          |                         | 34.8                    |
| Golfo Centro           |   |                          |                         | 5.96                    |
| Golfo Norte            |   | 1                        |                         | 136.91                  |
| Jalisco                | 600   |                          | 239.62                  | 499.58                  |
| Noroeste               |   |                          | 100.1                   | 32.85                   |
| Norte                  | 663   |                          | 45                      | 142.49                  |
| Oriente                |   |                          | 734                     | 140.41                  |
| Peninsular             |   | 3                        | 144                     | 84.81                   |
| Sureste                |   |                          |                         | 28.7                    |
| Valle de México Norte  |   |                          | 90                      | 39.46                   |
| Valle de México Centro |   | 12                       |                         | 14.49                   |
| Valle de México Sur    |   |                          | 47                      | 65                      |
| <b>Total general</b>   | <b>1,263.00</b>                               | <b>16</b>                | <b>1,479.22</b>         | <b>1,996.29</b>         |

Fuente: Sener con datos de CFE.

A partir de la publicación de la LAERFTE y al cierre de 2011, la CRE había tramitado 123 permisos para generar energía eléctrica por medio de fuentes renovables. El recurso predominante es el viento, representando 76.1% de la capacidad autorizada, las hidroeléctricas representan 7.3%, la biomasa 14.4%, el biogás 1.1%, y el sol 0.8%. La capacidad total autorizada de estos permisos es de 4,754 kW.

**Contrato de interconexión para fuente colectiva de energía renovable o sistema colectivo de cogeneración eficiente en pequeña escala**

El 24 de abril de 2012, la CRE envió a la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER), para su aprobación, el modelo de Contrato de interconexión para fuente colectiva de energía renovable o sistema colectivo de cogeneración eficiente en pequeña escala. Este nuevo instrumento fue diseñado con el objeto de ampliar el marco regulatorio vigente y normar la interconexión de proyectos colectivos desarrollados por un grupo de personas físicas o morales, que generen energía eléctrica con fuentes renovables de energía o sistemas de cogeneración en pequeña escala, interconectándose al Sistema Eléctrico Nacional. Esto, con el fin de proporcionar a los interesados otra fuente de producción y aprovechamiento de energía eléctrica, además de la energía suministrada por CFE.

Entre los beneficios de este nuevo instrumento destaca el que los usuarios que deseen cubrir sus necesidades de autoabastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía o cogeneración eficiente podrán hacerlo, beneficiándose del costo de la inversión que resulta de desarrollar de manera colectiva el proyecto.

### **2.8.2. Regulación para el aprovechamiento de transmisión eléctrica y desarrollo de nueva infraestructura para aprovechamiento de zonas con alto potencial renovable**

La regulación para el servicio de transmisión eléctrica entre permisionarios se regula con base en los contratos expedidos por la CRE.

#### **Convenio para el servicio de transmisión de energía eléctrica para fuente de energía**

Instrumento legal aplicable para transportar la energía eléctrica desde el sitio de la fuente de energía del permisionario hasta donde se localizan sus centros de consumo, para uso exclusivo del solicitante (permisionario) y de sus socios que requieran recibir la energía en uno o más puntos de carga.

#### **Convenio para el servicio de transmisión de energía eléctrica para fuente de energía hidroeléctrica**

Este convenio permite regular las operaciones entre el permisionario que requiere usar el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), para llevar energía eléctrica desde su fuente de energía hidroeléctrica hasta sus centros de consumo, solicitando el servicio de transmisión al suministrador, quien llevará a cabo los estudios de factibilidad correspondientes. En caso de resultar factible el servicio, las partes celebrarán un convenio, para lo cual se sujetará a lo establecido por la CRE en la metodología de transmisión para hidroeléctricas por la que se autorizan los cargos correspondientes a los servicios de transmisión.

#### **Disposiciones generales para regular el acceso de nuevos proyectos de generación de energía eléctrica con energías renovables o cogeneración eficiente a la infraestructura de transmisión de la CFE**

Este instrumento establece las reglas para la interconexión de proyectos en infraestructura existente y el desarrollo de nueva infraestructura a través de los procesos denominados “temporada abierta”.

El 8 de agosto de 2011, se publicó una convocatoria para la celebración de temporadas abiertas de reserva de capacidad de transmisión y transformación de energía eléctrica a desarrollarse en los estados de Oaxaca, Puebla, Tamaulipas y Baja California. Dichos procesos se encuentran actualmente en desarrollo y se prevé su cierre hacia principios de 2012.

## **Reglas Generales de Interconexión al Sistema Eléctrico Nacional para generadores o permisionarios con fuentes de energías renovables o cogeneración eficiente**

La CRE publicó el pasado 22 de mayo de 2012, las Reglas Generales de Interconexión al Sistema Eléctrico Nacional para generadores o permisionarios con fuentes de energías renovables o cogeneración eficiente, con el objetivo de establecer y comunicar los requerimientos técnicos, administrativos y legales para la interconexión al SEN de las instalaciones de los Generadores o Permisionarios con Fuentes de Energía Renovables o Cogeneración Eficiente, mediante los cuales el Suministrador mantiene el Sistema operando con seguridad, confiabilidad y competitividad.

Con este instrumento regulatorio, los Generadores o Permisionarios cuentan con mayor certeza y transparencia en el desarrollo de proyectos de energías renovables en el país.

### **2.8.3. Regulación sistemas térmicos**

Actualmente, no existe una regulación específica en cuanto al aprovechamiento de las energías renovables con aplicaciones térmicas. Para este caso se deberán cumplir las Leyes y Reglamentos mencionados en las secciones 2.1, 2.2 y 2.9. Si se recurre a aplicaciones térmicas con la finalidad de la generación de electricidad, se deberá cumplir además con la regulación y normas aplicables a generación eléctrica de la sección 2.8.1.

### **2.8.4. Regulación para la introducción de bioenergéticos**

Para este caso al igual que en la sección 2.8.3 se cumplirá con lo mencionado en la sección 2.1 y 2.2, además se deberá cumplir lo establecido en la LPDB, mencionada en la sección 2.3.2 y su respectivo Reglamento.

### **2.8.5. Regulación para el aprovechamiento de aguas nacionales**

Además de regularse por las Leyes y Reglamentos que se mencionan en las Secciones 2.1 y 2.2, el aprovechamiento de aguas nacionales como fuente renovable de energía se regirá con lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales.

De acuerdo con la reforma hecha al Artículo 120 del Reglamento de dicha Ley (DOF, 24/05/2011), exime de la concesión de agua, para explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, a proyectos para generación de energía hidroeléctrica en pequeña producción o escala (<30 MW), aprovechando las corrientes de ríos o canales sin desviar las aguas ni afectar su cantidad ni calidad.

La aplicación de la reforma al Reglamento de la Ley seguirá los criterios publicados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en el Diario Oficial de la Federación el 16 de junio de 2011; la construcción de las obras de infraestructura que se requieran para la generación de energía hidroeléctrica en pequeña producción o escala requerirá del permiso correspondiente. Los criterios por contemplar son los siguientes:

- Capacidad de generación menor a 30 MW

- No se desvían las aguas, ni se afecta su cantidad y calidad.
- Solicitar el permiso para realizar obras de infraestructura hidráulica.

Cuando la obra de infraestructura hidráulica se pretenda construir en zonas federales cuya administración compete a la CONAGUA, el particular deberá presentar de manera conjunta la solicitud de permiso para realizar obras de infraestructura hidráulica y de concesión de ocupación de zona federal.

## 2.8.6. Metodologías

### **Metodología para valorar externalidades asociadas con la generación de electricidad en México**

Con base en lo estipulado en la LAERFTE, en las reformas hechas al Artículo 3º, fracción III y Artículo 10º y en lo publicado en el Artículo 16º del Reglamento de dicha Ley, corresponde a la SENER, con opinión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la SEMARNAT, y la Secretaría de Salud, elaborar una metodología, para evaluar las externalidades asociadas con la generación de energía eléctrica con fuentes renovables y no renovables en sus diferentes escalas.

Para ello, se define como externalidades a los impactos positivos o negativos que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan o pudieran afectar a terceras personas. Las externalidades se generan cuando el costo pagado por un bien o servicio es diferente del costo total de los daños y beneficios en términos económicos, sociales, ambientales y para la salud, que involucren su producción y consumo.

Con base en lo anterior, la SENER publicó, el 17 de septiembre de 2009 en su portal de Internet, la Metodología para Valorar Externalidades Asociadas con la Generación de Electricidad en México. Dicha metodología, establece la forma de calcular y evaluar las externalidades derivadas de las emisiones de bióxido de carbono, asociadas con la generación de electricidad, que aplicará el suministrador del servicio público.

Si bien la metodología de externalidades, derivada de la reforma a la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética del 01 de junio de 2011, y tiene por objeto incorporar los impactos económicos, sociales, ambientales y a la salud, en la planeación y selección energética, evaluación económica y financiera y al despacho eléctrico; en la práctica existen pocos estudios e información que permitan incorporar estos costos adicionales.

La Secretaría de Energía, en conjunto con las Secretarías de Hacienda y Crédito Público, Salud y Medio Ambiente y Recursos Naturales, trabajan en la actualización de dicho instrumento, con el objeto de incorporar gradualmente los costos, sobre la base del desarrollo de los estudios de impacto específicos, para evaluar en condiciones similares a las diferentes tecnologías para la generación de electricidad y que el resultado de los ejercicios de planeación arroje el portafolio más limpio y de menor costo para el país.

**Metodología para la determinación de las contraprestaciones que pagará el Suministrador a los Generadores que utilicen energías renovables o cogeneración eficiente, y que estén interconectados al Sistema Eléctrico Nacional en alta o media tensión**

En cumplimiento al artículo 14 de la LAERFTE, la CRE trabaja en el desarrollo de una “Metodología para la determinación de las contraprestaciones que pagará el suministrador a los generadores que utilicen energía renovable o cogeneración eficiente”. El cálculo de las contraprestaciones tomará en cuenta la tecnología, la ubicación geográfica de los proyectos y las externalidades derivadas, con respecto a la electricidad generada con energías no renovables.

Con ello se persigue generar un ambiente de certidumbre y confianza que incentive nuevas inversiones en estos rubros.

**Metodología para el cálculo de la Cogeneración Eficiente**

El 22 de febrero de 2011, en cumplimiento a lo establecido al artículo 2° de la LAERFTE y al artículo 2°, fracción II, de su Reglamento, la CRE publicó la metodología para el cálculo de la eficiencia de los sistemas de cogeneración de energía eléctrica y los criterios para determinar la Cogeneración Eficiente. La publicación de esta metodología tiene los siguientes objetivos:

- I. Cumplir con la política energética del país;
- II. Promover el desarrollo de la generación de energía eléctrica a partir de proyectos de Cogeneración Eficiente;
- III. Promover la participación social y privada en el desarrollo eficiente de proyectos de generación de energía eléctrica, y
- IV. Diseñar un régimen predecible, estable y transparente que ofrezca flexibilidad y no imponga cargas innecesarias a las empresas.

Se considerará cogeneración eficiente si el sistema tiene un valor de eficiencia mínima de acuerdo a la siguiente tabla:

| Capacidad del Sistema     | Eficiencia mínima (%) |
|---------------------------|-----------------------|
| 0.03 < Capacidad MW < 0.5 | 5                     |
| 0.5 ≤ Capacidad MW < 30   | 10                    |
| 30 ≤ Capacidad MW < 100   | 15                    |
| Capacidad MW ≥ 100        | 20                    |

Para el caso de sistemas instalados a una altura superior a 1,500 metros sobre el nivel del mar, generando con motores de combustión interna o con turbinas de gas, el requerimiento de eficiencia mínima será la siguiente:

| Capacidad del Sistema     | Eficiencia mínima (%) |
|---------------------------|-----------------------|
| 0.03 < Capacidad MW < 0.5 | 2                     |
| 0.5 ≤ Capacidad MW < 30   | 5                     |

Los permisionarios que generen electricidad mediante un proceso de cogeneración que acrediten el criterio de eficiencia tendrán acceso a los instrumentos regulatorios previstos para este caso, que incentivan su aprovechamiento:

- Contrato de interconexión para centrales de generación con cogeneración eficiente (banco de energía, reconocimiento de capacidad, medición neta).
- Convenio de servicio de transmisión de energía eléctrica para cogeneración eficiente (pago de porteo por estampilla postal).
- Pago de contraprestaciones, en caso de poner a disposición de la CFE la capacidad excedente.

### **Metodología para la determinación de los cargos correspondientes a los servicios de transmisión que preste el suministrador a los permisionarios con centrales de generación eléctrica con fuente de energía renovable o cogeneración eficiente**

Esta metodología se caracteriza por un cargo tipo estampilla postal para determinar el cargo por el porteo de la energía eléctrica. Para cada punto de carga, el cargo por el servicio de transmisión será el resultado de sumar los cargos para cada uno de los niveles de tensión requeridos, alta, media o baja tensiones. En ningún caso, el servicio de transmisión incluirá dos o más veces el cargo por cada nivel de tensión. Los cargos se actualizan mensualmente por la CRE de acuerdo con el Anexo TB-RC de la metodología (índices de inflación).

Por último, el Artículo 8º, Fracción VII y el 14º de la LAERFTE, señalan que la CRE será la encargada de expedir los procedimientos de intercambio de energía y los sistemas correspondientes de compensaciones, para todos los proyectos conectados con las redes del SEN. Asimismo, se señala que la Comisión, con opinión de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Energía, determinará las contraprestaciones máximas que pagarán los Suministradores a los Generadores que utilicen energías renovables. Dichas contraprestaciones deberán incluir pagos por los costos derivados de la capacidad de generación y por la generación de energía asociada al proyecto y éstas podrán depender de la tecnología y ubicación geográfica del proyecto.

### **Disposiciones generales para acreditar sistemas de cogeneración como cogeneración eficiente**

Estas disposiciones establecen las reglas por las cuales los permisionarios de generación de energía eléctrica en la modalidad de cogeneración acreditarán sus sistemas como de cogeneración eficiente; las que normarán el perfil y atributos de las personas autorizadas para realizar las mediciones de las variables involucradas en dichos sistemas, y las que regirán los procedimientos de medición de dichas variables. Los permisionarios que acrediten sus sistemas como cogeneración eficiente, podrán tener acceso a los instrumentos regulatorios previstos, que otorgan beneficios equiparables a los de las energías renovables.

## 2.9. Normas y especificaciones técnicas

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de carácter obligatorio, y las Normas Mexicanas (NMX), de carácter voluntario, son elementos fundamentales que permiten garantizar que la oferta de productos de energías renovables en el mercado mexicano, cumplan con especificaciones y requerimientos que garanticen la seguridad, eficiencia y adecuada funcionalidad y manejo en el mercado nacional. Los productos que cumplen con estas normas, facilitan la toma de decisiones para los consumidores, productores y para el gobierno en sus distintos niveles. En la actualidad, se cuenta ya con algunas normas en materia de energías renovables, las cuales pueden ser consultadas en el Anexo 2.

## 2.10. Unidades de verificación

Son personas físicas o morales que realizan actos de verificación para evaluar la conformidad del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas, están acreditadas por una Entidad de Acreditación y Aprobadas por la SENER o alguno de sus órganos desconcentrados, conforme a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. En lo particular la SENER cuenta con unidades de verificación autorizadas para evaluar la conformidad de la NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización), en la cual se establecen las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones a fin de ofrecer seguridad a personas y propiedades.



# Capítulo 3. Situación actual y potencial de las energías renovables en México

En este capítulo se presenta la capacidad instalada de las energías renovables para generación de electricidad, producción de calor y de biocombustibles, además de una revisión del estado del aprovechamiento y nivel de conocimiento de los recursos de energía renovable en México. Para la generación de electricidad se identifica la capacidad instalada para servicio público y para instalaciones de autoabastecimiento privado y de pequeña producción.

Para la producción de calor, se establecen los potenciales identificados de aprovechamiento en distintos sectores de la economía y en el caso de los biocombustibles se presenta la situación actual y el potencial de aprovechamiento agrícola a lo largo de la República Mexicana.

## 3.1. Generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía

### 3.1.1. Pequeñas, mini y micro centrales hidroeléctricas ( $\leq 30$ MW)<sup>45</sup>

Esta sección desglosa, por fuente de energía renovable, la situación actual de la capacidad de generación eléctrica instalada en México, así como el potencial existente para su ampliación.

#### Situación actual

La capacidad de generación hidráulica para servicio público que opera la CFE en centrales con una capacidad igual o menor que 30 MW se integra por 94 unidades en 42 centrales, con una capacidad total de 286.6 MW (véase Cuadro 8). Esta capacidad instalada para la generación eléctrica por medio de las plantas, mini y micro hidroeléctricas se concentra en 14 estados de la República (menores que 30 MW). Cabe destacar la existencia de plantas instaladas hace ya más de cien años, las cuales siguen en servicio, como es el caso de las ubicadas en los estados de Hidalgo, México y Puebla.

<sup>45</sup> La clasificación por tipo de central hidráulica de acuerdo con su potencia nominal se define de la siguiente manera, con base en su mayor aceptación en el mundo: Micro;  $\leq 100$  kW; Mini;  $100 < kW < 1,000$ ; Pequeña;  $1 \leq MW < 30$ . En México, la LAERFTE establece como renovable a los proyectos hidroeléctricos con capacidad hasta 30 MW, o proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW con almacenamientos menores a 50 mil m<sup>3</sup> de agua o que tengan un embalse con una superficie menor a 1 hectárea y que no rebasen dicha capacidad de almacenamiento. Ésta se refiere a embalses ya existentes, aún de una capacidad mayor, que sean aptos para generar electricidad.

**Cuadro 8**  
**Capacidad efectiva de generación de centrales hidroeléctricas para servicio público menor o igual a 30 MW, al 31 de diciembre de 2011**

| Centrales | Unidades | Capacidad efectiva instalada (MW) | Estado          |
|-----------|----------|-----------------------------------|-----------------|
| 2         | 5        | 28                                | Chihuahua       |
| 3         | 10       | 28.48                             | Chiapas         |
| 2         | 9        | 38                                | Guerrero        |
| 2         | 3        | 3.967                             | Hidalgo         |
| 2         | 3        | 14.32                             | Jalisco         |
| 8         | 14       | 14.063                            | México          |
| 7         | 14       | 29.68                             | Michoacán       |
| 1         | 4        | 2.18                              | Nayarit         |
| 1         | 2        | 2.48                              | Oaxaca          |
| 3         | 8        | 8.36                              | Puebla          |
| 1         | 2        | 14                                | Sinaloa         |
| 3         | 5        | 20.13                             | San Luis Potosí |
| 2         | 3        | 28.8                              | Sonora          |
| 5         | 12       | 54.2                              | Veracruz        |
| 42        | 94       | 286.66                            |                 |

Fuente: CFE.

En lo que corresponde a plantas hidráulicas que no son de servicio público, la CRE otorgó 27 permisos de generación al 31 de diciembre de 2011 con una capacidad de 305.1 MW, las cuales están situadas en nueve estados de la República (véase Cuadro 9). De estas plantas, 24 tienen permiso para autoabastecimiento y 3 de pequeña producción, pero sólo 16 plantas se encuentran en operación con una capacidad de 147.0 MW, para una generación autorizada anual de 774 GWh/año<sup>46</sup>.

**Cuadro 9**  
**Permisos de generación para plantas hidroeléctricas menores o iguales que 30 MW, al 31 de diciembre de 2011**

| Estado Actual   | No. De plantas | Cap. Autorizada (MW) | Energía autorizada (GWh/año) | Localización   |
|-----------------|----------------|----------------------|------------------------------|--|
| En construcción | 8              | 132.6                | 682.7                        | Baja California, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca y Veracruz |
| En operación    | 16             | 147.0                | 774                          | Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Puebla y Veracruz      |
| Inactivos       | 3              | 25.5                 | 142.4                        | Jalisco, Oaxaca y Puebla                                       |
| Total           | 27             | 305.1                | 1,599.1                      |  |

Fuente: CRE.

<sup>46</sup> CRE, (2011), "Permisos para la Generación Privada." diciembre de 2011, <http://cre.gob.mx/articulo.aspx?id=171>.

## Potencial de aprovechamiento

Dentro de la evaluación integral realizada por la CFE, respecto del potencial hidroeléctrico en México, no se contempla el potencial de la pequeñas, mini y micro hidroeléctricas. Esto se debe a que los potenciales estimados por CFE corresponden a proyectos con una capacidad de generación mayor a los 40 GWh/año. Sin embargo, existen algunos estudios que permiten conocer los potenciales regionales, e identificar de manera general el potencial dichas escalas de proyecto en el país. Investigaciones llevadas a cabo por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, antes Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE) identificaron, en la sierra norte de Puebla y Veracruz, un potencial estimado de 364 MW de potencia media y 61 MW de potencia instalada, con una generación media anual de más de 3,526.1 GWh/año (véase Cuadro 10)<sup>47</sup>.

**Cuadro 10**  
**Potencial identificado de generación para pequeña, mini y microhidroeléctrica en tres regiones de México**

| Región                | No. de sitios | Potencia media (MW) | Potencia instalada (MW) | Generación media anual (GWh/año) |
|-----------------------|---------------|---------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Golfo (1994)          | 62            | 364                 | -                       | 3,189.50                         |
| Orizaba-Xalapa (2003) | 8             | -                   | 47                      | 240.8                            |
| Zongolica (2004)      | 2             | -                   | 14                      | 95.8                             |
| Total                 | 72            | 364                 | 61                      | 3,526.10                         |

Fuente: CONUEE.

Por otra parte, el estudio "*Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía: Aplicaciones en México*" realizado para la SENER establece, de manera preliminar, que el potencial de generación de la pequeña, mini y micro hidroeléctrica es de aproximadamente 2,800 MW de potencia media, con una producción de 9.79 TWh/año<sup>48</sup>, con base en referencias internacionales y del propio potencial establecido por la CFE para plantas con una generación mayor que 40 GWh/año.

No obstante, es importante realizar nuevos estudios contemplando evaluaciones de potencial más completos.

### 3.1.2. Energía Geotérmica

#### Situación actual

De acuerdo con datos de la CFE, al 31 de diciembre de 2011 se encontraban en operación 38 unidades de generación geotermoeléctrica, con el mayor aprovechamiento localizado cerca de

<sup>47</sup> Valdés H. (2005). *Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía: Aplicaciones en México*. Cuernavaca, Valdés Ingenieros, 19.

<sup>48</sup> Valdés H. (2005). *Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía: Aplicaciones en México*. Cuernavaca, Valdés Ingenieros, 19.

Mexicali, Baja California, en la central de Cerro Prieto con 645 MW. Ésta representaba 72% de la capacidad geotermoeléctrica en operación, mientras que el 28% restante estaba integrado por los Azufres, Michoacán (191.6 MW), Humeros, Puebla (40 MW) y Tres Vírgenes, Baja California Sur (10 MW), como se observa en el Cuadro 11<sup>49</sup>.

**Cuadro 11**  
**Capacidad efectiva de generación geotermoeléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2011**

| Nombre de la central | Número de unidades | Fecha de entrada en operación | Capacidad efectiva instalada (MW) | Ubicación           |
|----------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Cerro Prieto I       | 5                  | 1973                          | 105.0                             | Baja California     |
| Cerro Prieto II      | 2                  | 1984                          | 220.0                             | Baja California     |
| Cerro Prieto III     | 2                  | 1985                          | 220.0                             | Baja California     |
| Cerro Prieto IV      | 4                  | 2000                          | 100.0                             | Baja California     |
| Los Azufres          | 15                 | 1982                          | 191.6                             | Michoacán           |
| Los Humeros          | 8                  | 1991                          | 40.0                              | Puebla              |
| Tres Vírgenes        | 2                  | 2000                          | 10.0                              | Baja California Sur |
| <b>Total</b>         | <b>38</b>          |                               | <b>886.6</b>                      |                     |

Fuente: CFE.

### Potencial de aprovechamiento

De acuerdo con estudios preliminares, en el país existen reservas de aprovechamiento geotérmico equivalentes a 10,644 MWe distribuidas de la siguiente manera (véase Mapa 1)<sup>50</sup>:

- Reservas probadas. Son aquellas reservas de yacimientos conocidas que, de acuerdo con el análisis de geología e ingeniería, se estima con “razonable certeza”, recuperables comercialmente en las condiciones económicas y métodos de operación actuales; en este caso el potencial estimado es de 1,144 MWe e incluye a Cerro Prieto, Baja California, Los Azufres, Michoacán, Los Humeros, Puebla y Cerritos Colorados, Jalisco.
- Reservas probables. Son aquellas donde el análisis geológico y de ingeniería de yacimientos, incorporado a un análisis probabilístico (Montecarlo) del método volumétrico, indica que hay una probabilidad de, al menos, 50% de que las cantidades por recuperar sean iguales o mayores que la suma de las reservas probadas y reservas probables; en este caso, el potencial estimado para estas reservas es de 2,077 MWe distribuido en las siguientes localidades: La Primavera, San Marcos y Los Hervores en el

<sup>49</sup> CFE (2012). Unidades Generadoras en Operación. Capacidad, 2012. Comisión Federal de Electricidad. México: 99.

<sup>50</sup> Adame J. (2010). Potencial Nacional de las Energías Eólica y Geotérmica. Historia, Desarrollo y Futuro del Sector Eléctrico de México. UMAI. México DF: 17.

estado de Jalisco; zonas cercanas a Los Humeros en Puebla; Araró, Ixtlán y San Agustín, en Michoacán; y San Bartolomé y Puroaguita en Guanajuato.

- Reservas posibles. Son aquellas que por sus volúmenes, situación geológica y de diseño son de recuperación comercial menos segura que las reservas probables. De acuerdo con esta definición, cuando son utilizados métodos probabilísticos la suma de las reservas probadas, probables y posibles, tendrá al menos una probabilidad del 10% de que las cantidades realmente recuperadas sean iguales o mayores. Para este tipo de reservas el potencial estimado es de 7,423 MWe.

Análisis realizados recientemente aplicando un modelo volumétrico con simulación Montecarlo, indican que el potencial de recursos hidrotermales susceptibles de ser explotados mediante plantas de condensación y plantas de ciclo binario, se encuentra entre 887 y 948 MWe<sup>51</sup>.

Por su parte, la CFE ha identificado proyectos geotermoeléctricos en etapa de estudio por una capacidad de 434.1MW<sup>52</sup>.

**Mapa 1**  
**Zonas con potencial geotérmico**



Fuente: IIE.

De acuerdo con el estudio elaborado por la consultora PWC para el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía<sup>53</sup>, en donde participaron los principales actores del sector por parte de instituciones públicas, privadas y la academia, se partió de la base de

<sup>51</sup> Hiriart G. (2011). Evaluación de la Energía Geotérmica en México, Informe para el BID. México: 19.

<sup>52</sup> Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025, SENER. P. 188.

<sup>53</sup> Sener, Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, elaborada por PWC.

un potencial de geotermia de 10,000 MW a nivel nacional, a partir de la información y tecnologías vigentes. Además, se consensuó que existe un objetivo alcanzable de 2,200 MW geotermoeléctricos que pudieran ser desarrollados en el país hacia el 2020 dados los escenarios de precios de gas natural vigentes y la evolución esperada de la tecnología. A partir de este potencial, se cuantificó que se podría tener un impacto en el PIB estimado en 95.4 miles de millones de pesos, 117.3 miles de millones de pesos de inversión con un 65% de contenido local e ingresos tributarios por 8 mil millones de pesos. Dicha capacidad permitiría también reducir hasta en un 13% las importaciones diarias de gas natural hacia el 2020 con energía firme, capturar un 14% de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> estimadas para el mismo periodo y generar hasta 36,700 empleos directos e indirectos en los sectores involucrados de la industria nacional. Otros de los impactos esperados de dicha penetración serían el desarrollo de la industria local con gran potencial de exportaciones de alto nivel agregado y el desarrollo consecuente de las regiones donde se ubica dicho recurso renovable en el país.

### 3.1.3. Energía Eólica

#### Situación actual

Con relación a la capacidad de generación eoloeléctrica para el servicio público, la CFE tuvo en operación, a finales de 2011, las centrales de La Venta en Oaxaca (84.7 MW), Guerrero Negro en Baja California Sur (0.6MW) y el generador de la COP 16 (1.5 MW), lo que suma una capacidad total de generación de 86.8 MW<sup>54</sup>.

Por su parte, al 31 de diciembre de 2011, la CRE había otorgado 27 permisos para la generación eoloeléctrica en las modalidades de autoabastecimiento, exportación, pequeña producción y productor independiente de energía. De estos permisos, sólo siete corresponden a plantas que entraron en operación en 2011, ubicadas en los estados de Baja California y Oaxaca, con una capacidad autorizada total de 588.3 MW (véase Cuadro 12) y una generación autorizada anual 2,063.59 GWh/año. En 2012 entraron en operación 3 plantas en la modalidad de productor independiente de energía, ubicadas en el estado de Oaxaca. A su vez, 17 plantas con 2,281.0 MW de capacidad autorizada, ubicadas en los estados de Baja California, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, se encuentran en construcción o por iniciar obras<sup>55</sup>.

Prácticamente, la totalidad de los proyectos en desarrollo en el estado de Oaxaca se originaron en un primer ejercicio de temporada abierta, lo que permitió la planeación y desarrollo de nueva infraestructura de transmisión para el aprovechamiento del recurso eólico en el Istmo de Tehuantepec. A pesar que la línea de transmisión ya está en operación, diversos proyectos fueron afectados por la crisis mundial que redujo las alternativas de financiamiento desde el año 2009.

<sup>54</sup> CFE.

<sup>55</sup> CRE. (2012). "Permisos para la Generación Privada." Obtenido el 30 de junio de 2012, de la página <http://cre.gob.mx/articulo.aspx?id=171>.

**Cuadro 12**  
**Permisos de generación para plantas eoloelectricas, al 31 de diciembre de 2011**

| Estado Actual                       | No. De plantas | Cap. Autorizada (MW) | Energía autorizada (GWh/año) <sup>56</sup> | Localización  |
|-------------------------------------|----------------|----------------------|--|---|
| En construcción y por iniciar obras | 17             | 2281                 | 8062.23                                    | Baja California, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz |
| En operación en 2011                | 7              | 588.3                | 2063.59                                    | Oaxaca  |
| Entrada en operación en 2012        | 3              | 306                  | 979.2                                      | Oaxaca y Baja California  |
| <b>Total</b>                        | <b>27</b>      | <b>3,175.3</b>       | <b>11,105</b>                              |   |

Fuente: CRE.

### Potencial de aprovechamiento

En México, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) lleva a cabo estudios para estimar el potencial eoloenergético nacional. Estos estudios se basan en el supuesto de que sólo el 10% del área total con potencial es aprovechable para la instalación de parques eólicos. Esto debido a factores orográficos, ambientales, sociales y de factibilidad técnica y económica. Como resultado, el potencial energético del recurso eólico estimado en el país es del orden de 71 mil MW, considerando factores de planta superiores a 20%.

Para factores de planta mayores que 30%, se estima un potencial de 11,000 MW y con más de 35% de factor de planta se estima en 5,235 MW (véase Cuadro 13)<sup>57</sup>. Este último potencial representa los proyectos de inversión más atractivos; sin embargo, en las condiciones que rigen actualmente el mercado nacional de electricidad, los proyectos con factores de planta inferiores al 30% resultan económicamente factibles en ciertos nichos de oportunidad.

**Cuadro 13**  
**Potencial estimado de generación eoloelectrica en México**

| Factor de planta | Porcentaje de terreno | Capacidad instalable (MW) |
|------------------|-----------------------|---------------------------|
| 20-25            | 56.7                  | 40,268                    |
| 25-30            | 27.5                  | 19,535.00                 |
| 30-35            | 8.4                   | 5,961.00                  |
| 35-40            | 3.5                   | 2,500.00                  |
| >40              | 3.9                   | 2,735.00                  |

Fuente: IIE.

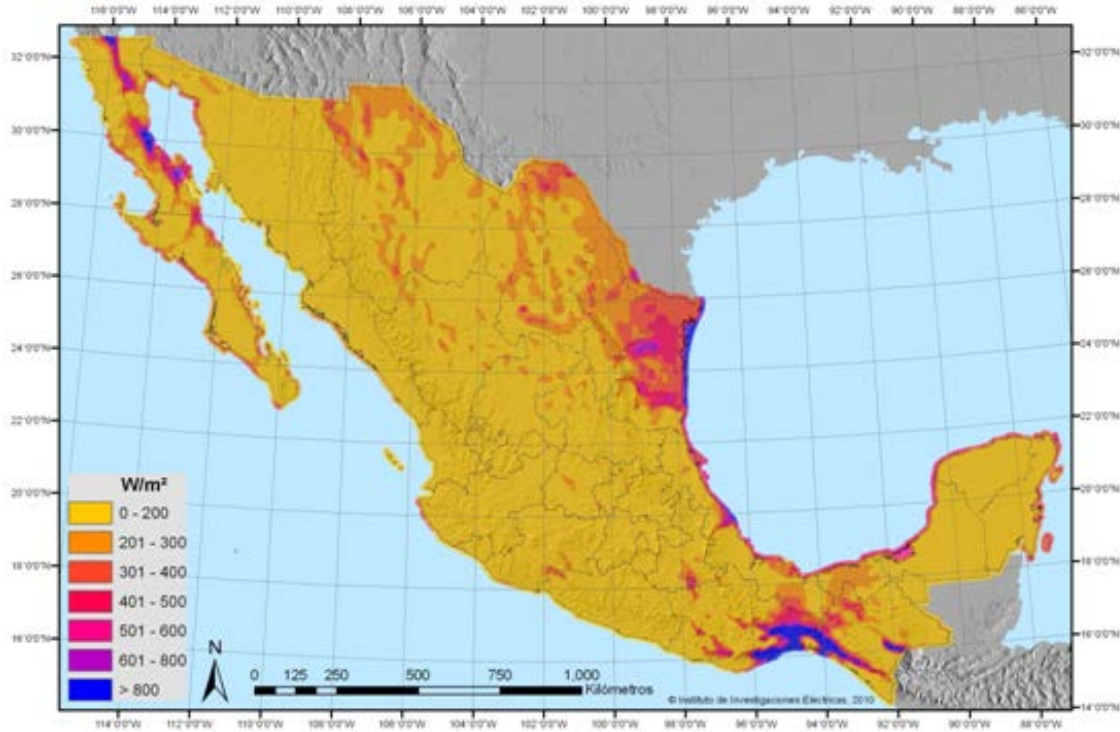
<sup>56</sup> CRE. Energía autorizada por la CRE para cada permisionario, con base en los cálculos de diseño del proyecto.

<sup>57</sup> IIE. (2010). "Explorador de Recursos Renovables." Obtenido el 10 de enero de 2011, de la página <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>.



De acuerdo con estos estudios, las regiones con mejor potencial, se ubican en la zona del Istmo de Tehuantepec, la costa del Golfo de México (particularmente la zona norte), y en la parte norte de la Península de Baja California (véase Mapa 2)<sup>58</sup>.

**Mapa 2**  
**Densidad de potencia del viento a 80 metros de altura en la República Mexicana**



Fuente: IIE.

Por otra parte, se han realizado estudios específicos en algunas regiones con potenciales significativos, entre las que destacan, el Istmo de Tehuantepec, las penínsulas de Yucatán y Baja California, y la parte norte del Golfo de México; tan sólo para Oaxaca, los estudios del *National Renewable Energy Laboratory* de Estados Unidos y diversas instituciones mexicanas, han estimado un potencial superior a los 40,000 MW<sup>59</sup>.

De acuerdo con el estudio elaborado por la consultora PWC para la Asociación Mexicana de Energía Eólica<sup>60</sup>, en donde participaron los principales actores del sector por parte de instituciones públicas, privadas y la academia, se partió de la base de un potencial eólico nacional de 50,000 MW para factores de planta de al menos 20%, a partir de la información y tecnologías vigentes. Además, se consensó que existe un potencial competitivo de 12,000 MW eólicos que pudieran ser desarrollados en el país hacia el 2020 dados los escenarios de precios de gas natural vigentes. A partir de este potencial competitivo, se cuantificó que se podría tener un impacto estimado en el PIB

<sup>58</sup> IIE. (2010). "Explorador de Recursos Renovables." Obtenido el 10 de enero de 2011, de la página <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>.

<sup>59</sup> Elliott, D. M. Schwartz, et al. (2004), Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca, National Renewable Energy Laboratory: 138.

<sup>60</sup> AMDEE, Iniciativa para el desarrollo del potencial eólico en México, elaborada por PWC.



de 167 miles de millones de pesos, así como impactos por otros 31 mil millones de pesos asociados con la renta de terrenos y desarrollo de infraestructura de transmisión. Dicha capacidad permitiría también reducir hasta en un 17% las importaciones diarias de gas natural hacia el 2020 sin afectar los márgenes de reserva del SEN, capturar entre el 8 y el 15% de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> estimadas para el mismo periodo y generar hasta 48,000 empleos directos e indirectos en los sectores involucrados de la industria nacional.

### 3.1.4. Solar fotovoltaica y termosolar de alta concentración

#### Situación actual

##### Sistemas fotovoltaicos

En 2011, la capacidad total instalada de sistemas fotovoltaicos fue de 32 MW, principalmente para la electrificación rural, suministro de energía en el sector residencial, bombeo de agua, en los sectores comercial e industrial (p. e. iluminación de exteriores, alimentación de sistemas de emergencia, etc.)<sup>61</sup>.

A partir de la publicación de los instrumentos regulatorios que facilitan la interconexión de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, la CFE<sup>62</sup> registró una capacidad adicional instalada de estos sistemas en pequeña y mediana escala por 3.48 MW, en el periodo 2010-2011. Considerando el crecimiento de la capacidad de generación eléctrica por este tipo de sistemas interconectados a la red, principalmente en el sector residencial y de servicios, su crecimiento fue del 763% (1.34 MW) en el año 2010 y 128% (1.95 MW) en 2011. Por otro lado, la capacidad de generación eléctrica por sistemas fotovoltaicos aislados de la red, fue de 0.2 MW (5.71%); se estima que el factor de planta promedio fue de 0.207.

##### Termosolar de alta concentración

Actualmente, en México no se cuenta con centrales en operación que utilicen este tipo de tecnologías de aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, en el estado de Sonora se encuentra en desarrollo el proyecto 171 CC Agua Prieta II, a cargo de la CFE, mismo que consiste de un sistema híbrido de ciclo combinado (477 MWe) y de un campo termosolar de canales parabólicos con una potencia de 14 MWe. Se espera que esta central entre en operación en el 2013.

#### Potencial de aprovechamiento

México se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional<sup>63</sup>; esta característica resulta ideal para el aprovechamiento de la energía solar, pues la irradiación global media diaria en el territorio nacional, es de alrededor de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/d, siendo uno de los países

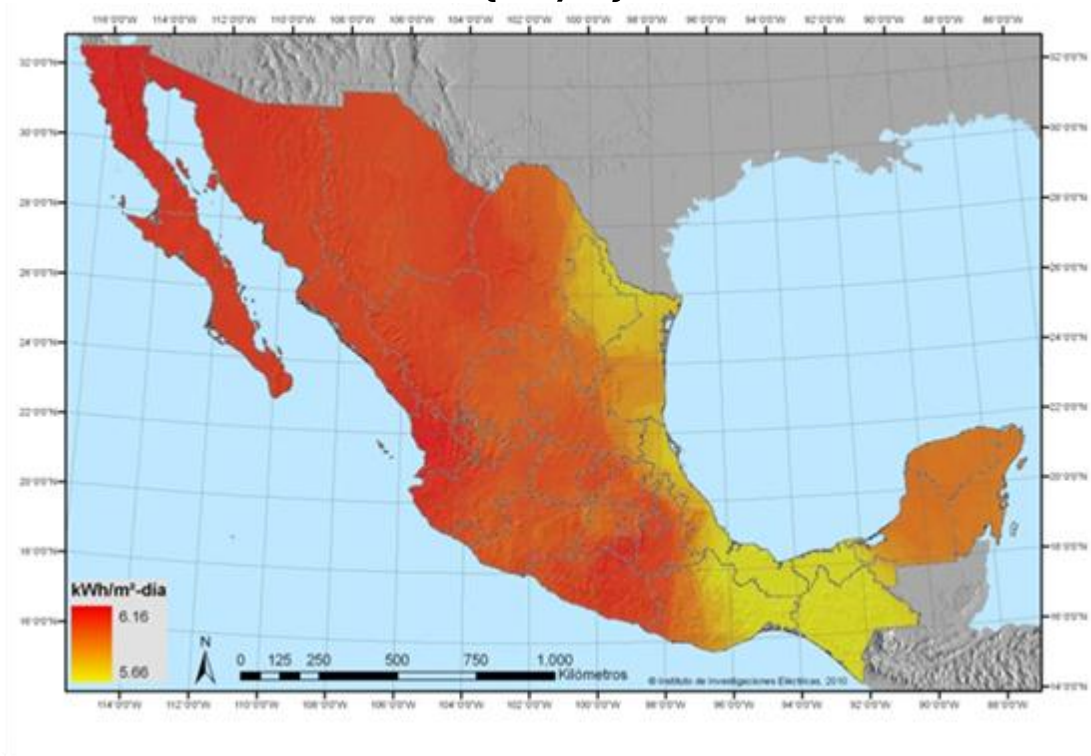
<sup>61</sup> ANES. (2010). "Balance Nacional de Energía 2010" Obtenido el 1o de diciembre de 2011, de la página [http://www.anes.org/anes/index.php?option=com\\_wrapper&Itemid=13](http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=13).

<sup>62</sup> Comportamiento de los Contratos de Interconexión en pequeña y mediana escala, CFE, 31 de diciembre de 2011. <http://www.cre.gob.mx/documento/2109.pdf>

<sup>63</sup> Sánchez, N. (2008). El cambio global del clima y algunos efectos sobre los ecosistemas. De las bacterias al clima: un enfoque ecológico. D.F., México. UAM. pp. 207-233.

con mayor potencial en aprovechamiento de la energía solar en el mundo. La irradiación promedio diaria cambia a lo largo de la república y depende también del mes en cuestión, descendiendo ligeramente por debajo de  $3\text{kWh/m}^2$  y pudiendo alcanzar valores superiores a  $8.5\text{kWh/m}^2$  (véase Mapa 3)<sup>64</sup>.

**Mapa 3**  
**Irradiación solar global diaria promedio anual en el territorio nacional**  
**( $\text{kWh/m}^2$ )**



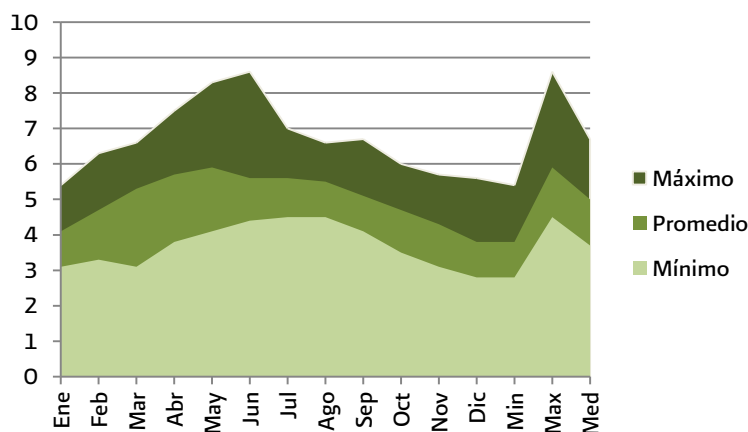
Fuente: IIE.

El intervalo de irradiación solar global diaria promedio mensual en México se puede observar en la Gráfica 15<sup>65</sup>.

<sup>64</sup> Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). Disponible en: [http://www.conae.gob.mx/wb/procalsol/energia\\_solar2](http://www.conae.gob.mx/wb/procalsol/energia_solar2)

<sup>65</sup> CONUEE, (2008). "Irradiación global media en la República Mexicana". Tabla, CONUEE, México. Disponible en línea en [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_1433\\_irradiacion\\_en\\_la\\_red](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1433_irradiacion_en_la_red) [Consulta: 12 octubre, 2009].

**Gráfica 15**  
Intervalo de irradiación solar global diaria promedio mensual en México  
(kWh/m<sup>2</sup>)



Fuente: SENER con información de la CONUEE.

La distribución de la insolación (periodo en que la radiación solar calienta la superficie terrestre) en el país contempla la cantidad promedio de días despejados y nublados para cada región; así se tiene que el noroeste y norte del país (Sonora, Chihuahua y Baja California) presentan la mayor insolación, la cual va disminuyendo hacia la altiplanicie, siendo más notoria la reducción en el sureste y en la costa del Golfo de México (por la gran cantidad de días nublados)<sup>66</sup>.

Por otra parte, el IIE realizó un estudio<sup>67</sup> del potencial de penetración en un periodo de cinco años en México, de las tecnologías termosolares de concentración para la generación eléctrica, en el cual se definieron los siguientes tres escenarios:

- Escenario bajo: Plantas de plato parabólico para sustituir máquinas de combustión interna.
- Escenario medio: Plantas de receptor central y de canal parabólico para cubrir capacidad adicional y retiros de plantas convencionales de CFE.
- Escenario alto: Plantas de receptor central, de canal parabólico y platos parabólicos para cubrir el 30% de la capacidad no comprometida en plantas de CFE.

Como resultado del potencial estimado para el periodo entre 2010 y 2015, en el Cuadro 14 se muestra la distribución de potencial para las dos regiones más atractivas del país.

De acuerdo con el estudio elaborado por la consultora PWC para el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía<sup>68</sup>, en donde participaron los principales actores del sector por parte de instituciones públicas, privadas y la academia, se espera que fuera del segmento residencial de alto consumo, comience a existir potencial fotovoltaico competitivo en

<sup>66</sup> Brailovsky P., Torres D. y Romero S., (2011). Capítulo 10: Energía solar térmica; energías renovables: Impulso político y tecnológico para un México sustentable. USAID-ITAM.

<sup>67</sup> Dr. Carlos Ramos Berumen (2010), comunicación personal, Instituto de Investigaciones Eléctricas.

<sup>68</sup> Sener, Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, elaborada por PWC.

vivienda a partir de 2017, alcanzando los 6,400 MW en 2020. Dado que la tecnología no es competitiva con los ciclos combinados y su desarrollo no podría depender exclusivamente del mercado de autoconsumo, será necesario fijar objetivos de desarrollo en el SEN. La evolución estimada de la tecnología permite identificar que entre 2015 y 2020 será competitiva para los usuarios residenciales de rango alto, la demanda del SEN en horario punta y las tarifas industriales en media tensión. A partir de lo anterior, se determinó un objetivo alcanzable al 2020 de 1,500 MW, cuyo desarrollo ordenado y visible permitiría obtener: un impacto en el PIB de 31.4 miles de millones de pesos; 12,400 empleos directos e indirectos, ingresos tributarios por hasta 2.6 miles de millones de pesos; capturar hasta el 2% del potencial de abatimiento de emisiones; y, reducir hasta en 2% las pérdidas por transmisión y distribución en el SEN. Otros de los impactos esperados de dicha penetración serían la reducción en la demanda pico de los usuarios que están siendo abastecidos por la tecnología y la contribución a las iniciativas de investigación y desarrollo vigentes en el país sobre la tecnología.

**Cuadro 14**  
**Potencial de penetración de las tecnologías termosolares de concentración en México**  
**Período 2010-2015**

| Región   | Escenario | Potencia media (MW) |
|----------|-----------|---------------------|
| Norte    | Bajo      | 0                   |
|          | Medio     | 816                 |
|          | Alto      | 1,413               |
| Noroeste | Bajo      | 417                 |
|          | Medio     | 837                 |
|          | Alto      | 1,431               |
| Total    | Bajo      | 417                 |
|          | Medio     | 1,653               |
|          | Alto      | 2,844               |

Fuente: IIE.

### 3.1.5. Bioenergéticos para la generación de electricidad

#### Situación actual

##### Residuos agrícolas

Al 31 de diciembre de 2011, la CRE tenía registrados 50 permisos de generación eléctrica bajo las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración y usos propios continuos en ingenios azucareros, de los cuales 49 permisos iniciaron operación con una capacidad autorizada de 461.1 MW, y una generación anual de 852.3 GWh/año; asimismo, se tiene registrado un proyecto en construcción al cierre del año con una capacidad de 35.3 MW, con una generación de 117.3 GWh/año.

De la capacidad autorizada, 94% está destinado al autoabastecimiento y usos propios continuos, el resto se genera bajo la modalidad de cogeneración.

Por otro lado, existen 3 permisionarios de autoabastecimiento, cogeneración y usos propios continuos en operación en el sector paplero y otras industrias, con una capacidad autorizada de 71.5 MW y una producción anual de 217.4 GWh/año. En el caso de la industria química, se encuentra en construcción un proyecto que aprovechará el bagazo de caña con una capacidad de 8 MW y será destinado a satisfacer parte de la demanda de una empresa del ramo.

### **Residuos forestales**

Actualmente no se dispone de datos acerca de capacidad instalada de generación a partir de residuos forestales. Sin embargo, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) llevó a cabo estudios que arrojan datos, que sirven como punto de referencia para el desarrollo de información en la materia en México, así como para el planteamiento de nuevos proyectos de generación de energía a partir de biomasa forestal. Estos datos se presentan en el apartado de potencial de generación.

### **Biogás**

El biogás se produce naturalmente como resultado de la descomposición de la materia orgánica. Sus principales fuentes son los residuos, ya sean urbanos o ganaderos, y las aguas municipales e industriales.

#### **a) Residuos sólidos urbanos**

Los rellenos sanitarios, constituyen el medio más utilizado para disponer de la basura y los desechos generados en el país. Sin embargo, si no se gestiona bien su operación, producen emisiones GEI a la atmósfera y lixiviados que penetran el subsuelo.

Se estima que la disposición de residuos sólidos urbanos en México en rellenos sanitarios es de 28.2 millones de toneladas anuales, con una composición aproximada del 53% de residuos orgánicos, mismos que son enviados a 186 rellenos sanitarios<sup>69</sup>.

El biogás proveniente de los residuos orgánicos tiene una composición aproximada del 50% de metano y el otro 50% de CO<sub>2</sub> y otros gases, existiendo la posibilidad técnica de convertirlos en electricidad.

La generación de residuos sólidos urbanos en México va incrementándose en promedio un 2.3% anual, siendo que la generación de materia orgánica en el 2010 fue del 52.4% aproximadamente (véase Gráfica 16).

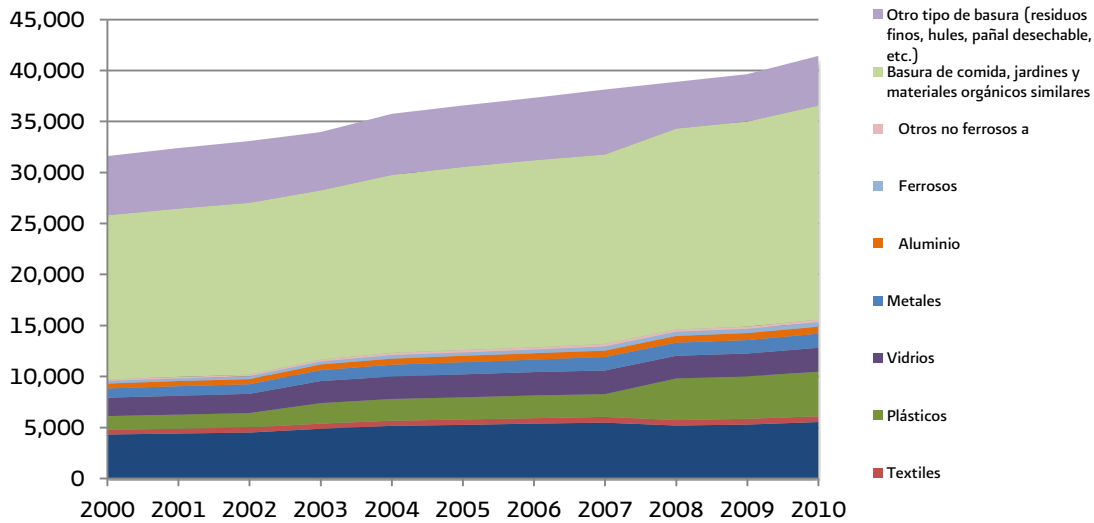
La CRE otorgó al cierre de 2011, diez permisos para generar energía eléctrica con biogás, seis de ellos en la modalidad de autoabastecimiento en los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Guanajuato y Nuevo León, y cuatro en la modalidad de cogeneración en Jalisco, Nuevo León, Estado de México y Querétaro. En conjunto representan una capacidad autorizada de 44.76 MW y una producción de 269 GWh/año.

El 20 de mayo del 2011 fue inaugurada una de estas plantas en el relleno sanitario de Ciudad Juárez, Chihuahua, misma que cuenta con una capacidad autorizada de 6.4 MW, y una producción de 39.2 GWh/año<sup>70</sup>.

<sup>69</sup> Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) de la SEMARNAT. México. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx>

En ese contexto, podemos afirmar que existe un alto potencial de producción de biogás en el país a partir de los rellenos sanitarios, el cual aún no se aprovecha.

**Gráfica 16**  
**Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo,**  
**2000 a 2010**



Fuente: SNIARN.

## b) Residuos ganaderos

La SAGARPA ha instrumentado diversas acciones para fomentar el uso y aplicación de la energía renovable en el sector agropecuario, a fin de generar desarrollo rural sustentable que coadyuve a disminuir los impactos negativos en el medio ambiente.

Dichas acciones han sido diseñadas para producir biogás utilizando los desechos orgánicos (estiércol) producidos por los animales en las granjas porcinas, establos lecheros y corrales de engorda, mismos que son sometidos a un proceso de biodegradación anaeróbica (metano-génesis) en biodigestores del tipo laguna, el cual puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica.

En el periodo 2008–2012, el Gobierno Federal a través de la SAGARPA apoyó la construcción de 327 biodigestores y la adquisición de 137 moto generadores a partir de biogás, para generar energía eléctrica y térmica la cual es utilizada para diversos fines productivos dentro de las explotaciones agropecuarias.

El único permiso otorgado por la CRE para generar energía eléctrica con biogás producido por los residuos ganaderos en el estado de Chihuahua es de la empresa ENERGÍA LÁCTEA, S. A. DE C. V., con una capacidad autorizada de 0.80 MW y una producción de 5.06 GWh/año.

<sup>70</sup> Comisión Reguladora de Energía (<http://www.cre.gob.mx/permisose.aspx>)

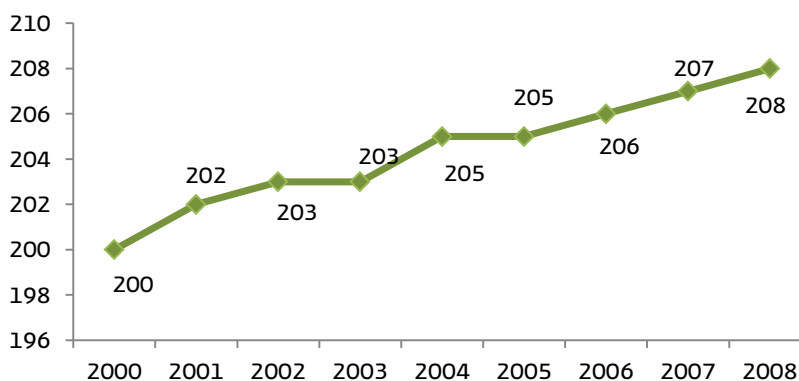
## c) Aguas residuales

### Aguas residuales municipales

La CONAGUA tenía registradas, hasta diciembre de 2008, 1,833 plantas de aguas residuales urbanas en operación formal con una capacidad total instalada de 113 m<sup>3</sup>/s.

Dichas plantas procesaban un caudal de 83.6 m<sup>3</sup>/s, equivalente al 40.2% del total de las aguas residuales generadas y colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipales, el cual está estimado en 208 m<sup>3</sup>/s (véase Gráfica 17).

**Gráfica 17**  
**Tratamiento de aguas residuales municipales**  
**Agua residual colectada (m<sup>3</sup>/s)**



Fuente: Información obtenida de CONAGUA/SGT/Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua.

De las 1,833 plantas antes señaladas, 69 corresponden a instalaciones nuevas que iniciaron operaciones durante 2008, y cuentan con una capacidad instalada de 5.3 m<sup>3</sup>/s y 3.2 m<sup>3</sup>/s. De éstas destacan, por su capacidad instalada, las de Tijuana, Baja California (Monte los Olivos) de 460 l/s; Saltillo, Coahuila (Principal) de 1,200 l/s; Oaxaca, Oaxaca de 600 l/s; Matamoros, Tamaulipas (Oriente) de 385 l/s; Reynosa, Tamaulipas de 1,000 l/s, y Veracruz, Veracruz (Cabeza Olmeca y Venustiano Carranza) de 230 l/s, cada planta respectivamente.

Al 2011, la CRE ha otorgado cinco permisos para generar energía eléctrica con biogás por medio de tratamiento de aguas residuales municipales; tres de ellos en la modalidad de autoabastecimiento: uno en el estado de Guanajuato y dos en Nuevo León; y dos en la modalidad de cogeneración: uno en Querétaro y uno en Jalisco. En conjunto, dichos permisos representan una capacidad autorizada de 16.4 MW y una producción 94.9 GWh/año<sup>71</sup>.

### Aguas residuales industriales

En 2008, la CONAGUA tenía registradas, 2,174 plantas de tratamiento de aguas industriales, de las cuales 2,082 se encontraban en operación, con un gasto de tratamiento de 33,778 l/s, que equivale al 59.5% de su capacidad instalada<sup>72</sup>. Actualmente no se tiene registro de algún proyecto

<sup>71</sup> Comisión Reguladora de Energía (<http://www.cre.gob.mx/permisose.aspx>)

<sup>72</sup> Información obtenida de CONAGUA/SGT/Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua.

de generación eléctrica que aproveche el biogás proveniente de aguas residuales industriales, lo cual puede representar una oportunidad para mejorar la productividad en este sector.

## Potencial de aprovechamiento

### Residuos forestales

Los residuos de aprovechamiento forestal y aserrío representan casi 70% del volumen de los recursos forestales que se aprovechan. Estos residuos tienen un uso limitado, por lo que, no obstante que su manejo puede representar un problema en muchos casos, las tendencias actuales en las energías renovables les asignan un potencial muy alto, en especial a los residuos forestales. En ese sentido, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a efecto de dar cumplimiento a la estrategia de desarrollo y transferencia de tecnología de producción de energía a partir de biomasa forestal, impulsó el desarrollo de 4 estudios que determinan las opciones más viables para el uso con fines energéticos de los residuos de aprovechamientos y aserraderos, resultando como principales zonas con potencial el Ejido El Largo, Chihuahua; la Región El Salto, Durango; Ejido El Balcón, Guerrero, y Ejido Noh-Bec (Quintana Roo) (véase Mapa 4 y Cuadro 15).

**Mapa 4.**  
**Ubicación de los proyectos de producción de energía a partir de biomasa forestal**



Fuente: SENER con información de CONAFOR 2012.



**Cuadro 15**  
**Principales resultados de los estudios de generación de energía eléctrica a partir de**  
**residuos de aserrío y aprovechamiento forestal**

|   | Ejido El Largo<br>(Chihuahua) | Ejido El Balcón<br>(Guerrero) | Ejido Noh-Bec<br>(O. Roo) | Región El Salto<br>(Durango) |
|---|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Volumen promedio aserrado anualmente (m <sup>3</sup> )  | 72,814                        | 18,000                        | 7,200                     | 229,000                      |
| Residuos de aserrío disponibles (ton/año)   | 7300                          | 4500                          | 1136                      | 31000                        |
| Residuos de aprovechamiento recuperables (ton/año)  | ---                           | ---                           | ---                       | 55000                        |
| Consumo de Electricidad de las instalaciones industriales (millones de kWh)                   | 1.5                           | 1.3                           | 0.14                      | ---                          |
| Gasto por consumo de electricidad de las instalaciones industriales (millones de pesos)       | 3                             | 2.8                           | 0.3                       | ---                          |
| Propuesta de generación de energía eléctrica  | Quema de biomasa              | Quema de biomasa              | Gasificación de carbón    | Gasificación de biomasa      |
| Posibilidad de generación de energía eléctrica con los residuos disponibles (millones de kWh) | 7.3                           | 41032                         | 0.6                       | 7 - 11 MW                    |
| Potencia a instalar (kW)  | 200                           | 200                           | 92                        | ---                          |
| Viabilidad técnica  | viable                        | viable                        | viable                    | viable                       |
| Inversión necesaria para ejecutar el proyecto (millones de pesos)                             | 9.4                           | 14                            | 1.7                       | ---                          |
| Costo anual de operación (millones de pesos)  | 0.97                          | 1.08                          | 0.08                      | ---                          |
| Viabilidad financiera   | viable                        | viable                        | viable                    | ---                          |
| Reducción de emisiones (ton CO <sub>2</sub> e/año)  | 1,100 - 1,200                 | 1,100 - 1,200                 | 123.5                     | 46000                        |

Fuente: SENER con información CONAFOR 2012.

### Residuos agrícolas

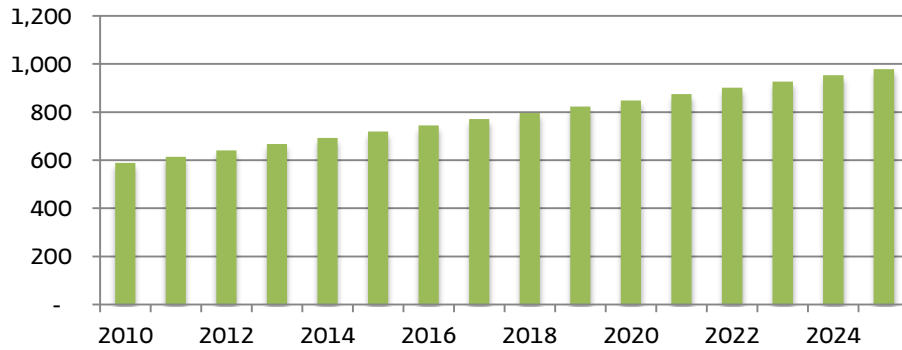
Existe un potencial importante para aumentar la capacidad de cogeneración en ingenios azucareros mediante modificaciones a la tecnología utilizada actualmente, ya que mediante el uso de calderas nuevas del tipo de lecho fluidizado, con producción de vapor a presiones de 70 bares y temperaturas de 480°C, con economizador para calentar el agua de alimentación y aprovechamiento de gases para el secado del bagazo, se podría obtener una capacidad bruta de 18 MW, con excedentes disponibles para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de aproximadamente 10 MW por ingenio en tiempo de zafra (véase Gráfica 18).

Asimismo, con dicha tecnología, el potencial de cogeneración fuera de zafra operaría para atender su mantenimiento con una capacidad estimada de 2 MW por ingenio, y se quemaría 15% del bagazo restante, complementando los requerimientos de combustible con combustóleo, obteniendo así una capacidad bruta de 10 MW y un excedente para el SEN de 7 MW.

En ese orden de ideas, el desarrollo de esta tecnológica en 57 ingenios, arrojaría un potencial técnico máximo de cogeneración de 18 MW por ingenio y un potencial bruto técnico máximo de

cogeneración de 1,025 MW y neto de 979 MW, de acuerdo a estimaciones realizadas por la SENER con base en el crecimiento anual de cogeneración de los últimos 5 años.<sup>73</sup>

**Gráfica 18**  
**Potencial técnico de cogeneración por bagazo (MW)**



Fuente: SENER.

De acuerdo con el estudio elaborado por la consultora PWC para el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía<sup>74</sup>, en donde participaron los principales actores del sector por parte de instituciones públicas, privadas y la academia, se identificó un potencial de 1,000 MW de cogeneración en ingenios azucareros a nivel nacional, a partir de la información y tecnologías vigentes. De los 54 ingenios identificados se sabe que sólo 5 tienen conexión con el SEN lo cual abre oportunidades de optimizar la transformación de biomasa en energía para los 49 ingenios restantes. Para estos, se identificó que la rentabilidad mínima para el desarrollo de proyectos que entreguen excedentes a la CFE se obtiene en aquellos cuya producción de 220,000 toneladas por año de caña, y que aquellos que producen al menos 85,000 toneladas de caña por año sería competitivos para integrar sociedades de autoabastecimiento.

## Biogás

### a) Residuos sólidos urbanos

México tiene gran potencial para el aprovechamiento de rellenos sanitarios para la producción de biogás como fuente de energía eléctrica y térmica (véase Cuadro 16). El adecuado aprovechamiento de los 186 rellenos sanitarios en todo el país, podría generar entre 1,629 y 2,248 toneladas al año de metano, e instalar una capacidad entre 652 y 912 MW de generación de energía eléctrica. Asimismo, el tratamiento térmico de los rellenos sanitarios tiene una capacidad de generación de energía eléctrica de entre 1,597 y 1,994 MW.

El 58.9% de los residuos sólidos urbanos manejados en los rellenos sanitarios se localizan en siete entidades federativas: Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Nuevo León, Puebla, y Veracruz con una generación de 16,647 toneladas (véase Mapa 5).

<sup>73</sup> Dirección General Adjuntas de Bioenergéticos a partir de la información del Sistema de Información Energética, SENER, 2012.

<sup>74</sup> Sener, Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, elaborada por PWC.

**Cuadro 16**  
**Potencial de aprovechamiento de biogás proveniente de rellenos sanitarios**

|           | Generación RSM<br>(2010) | Potencial de<br>generación CH <sub>4</sub> <sup>75</sup> | Potencial de generación<br>de energía eléctrica a<br>partir de biogás | Potencial de<br>generación de energía<br>térmica a partir de<br>electricidad <sup>76</sup> |
|-----------|--------------------------|--|---|--|
|           | (miles ton/año)          | (miles ton/año)  | MW  | MW   |
|           | 0 - 500                  | 0 - 25   | 0 - 10  | 0 - 25   |
|           | 550 - 1,000              | 25 - 50  | 10 - 20   | 25 - 50  |
|           | 1,000 - 2,000            | 50 - 100   | 20 - 35   | 50 - 80  |
|           | 2,000 - 2,500            | 100 - 150  | 35 - 50   | 80 - 110   |
|           | 2,500 - 5,000            | 150 - 300  | 50 - 110  | 110 - 225  |
| Nacional. | 40,058 <sup>77</sup>     | 1,629 - 2,248  | 652 - 912   | 1,597 - 1,994  |

Fuente: SENER a partir de SEMARNAT y SNIARN.

**Mapa 5**  
**Potencial de aprovechamiento de biogás proveniente de rellenos sanitarios**



Fuente: SENER a partir de SEMARNAT y SNIARN.

## b) Residuos ganaderos

México cuenta con un amplio potencial de unidades productivas susceptibles de incorporar sistemas de biodigestión en diferentes niveles, del cual se estima que hay 3,000 establos lecheros, 1,500 granjas porcinas, 94 rastros TIF y 905 rastros municipales, sin considerar los corrales de engorda y granjas avícolas interesadas en la tecnología, además de miles de unidades de producción

<sup>75</sup> *Landfill Gas to Energy Project Opportunities*, EPA 430 K 99 002, 1999.






<sup>76</sup> *Dhussa, A. K., Vashney, A.K. (UNDP, 2000). Energy Recovery from Municipal Solid West.*

<sup>77</sup> SEMARNAT. SNIARN. Base de datos estadísticos, Módulo de consulta temática, Dimensión ambiental, <http://www.semarnat.gob.mx> (Consulta: 15 de junio de 2011).

pequeñas que podrían utilizar el biogás y sus aplicaciones para servicios de autoconsumo (véase Cuadro 17 y Cuadro 18)<sup>78</sup>.

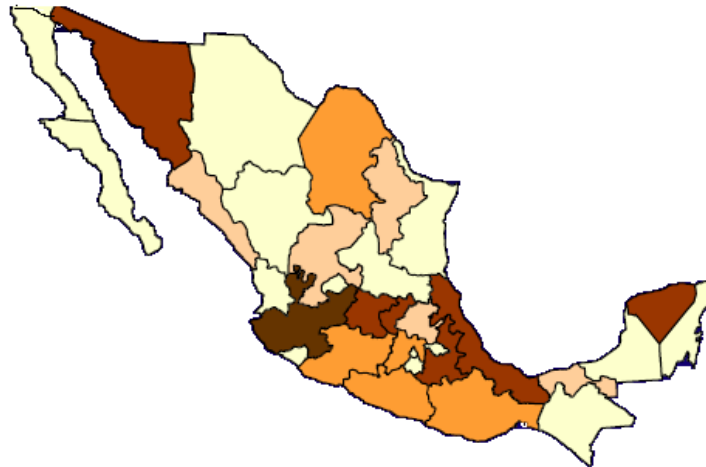
Como se muestra en el Cuadro 17, el aprovechamiento de excretas de ganado porcino podría generar entre 0.49 y 0.738 millones de toneladas anuales y un potencial de generación eléctrica de 246 a 492 MW. Se estima que, al 30 de septiembre de 2007, en México existían 9.21 millones de cabezas de ganado porcino, de los cuales la mitad de las cabezas se encontraban en cuatro entidades: Sonora, Jalisco, Guanajuato y Puebla (véase Mapa 6).

**Cuadro 17**  
**Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado porcino en el territorio nacional**

|   | Cabezas de ganado<br>(2007) | Potencial de<br>generación <sup>79</sup> CH <sub>4</sub> | Potencial de generación<br>eléctrica biogás <sup>80</sup> |
|---|-----------------------------|--|---|
|   | Miles de cabezas            | (miles ton/año)  | MW  |
|  | 0 - 500                     | 0 - 15   | 0 - 10  |
|  | 550 - 1,000                 | 15 - 30  | 10 - 20   |
|  | 1,000 - 2,000               | 30 - 60  | 20 - 40   |
|  | 2,000 - 2,500               | 60 - 90  | 40 - 80   |
|  | 2,500 - 5,000               | 90 - 160   | 80 - 140  |
| Nacional.   | 9,210 <sup>81</sup>         | 492 - 738  | 246 - 492   |

Fuente: SENER a partir de FIRCO-SAGARPA.

**Mapa 6**  
**Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado porcino en el territorio nacional**



Fuente: SENER a partir de FIRCO-SAGARPA.

<sup>78</sup> Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario. Fideicomiso de Riesgo Compartido FIRCO-SAGARPA, pag.14.

<sup>79</sup> Schmidt, David. *Anaerobic Digestion Overview*.

[www.extension.umn.edu/capacity/afe/components/Powerpoints/SchmidtAndigest.ppt](http://www.extension.umn.edu/capacity/afe/components/Powerpoints/SchmidtAndigest.ppt)

<sup>80</sup> Dhussa, A.K., Vashney, A.K. (UNDP, 2000). *Energy Recovery from Municipal Solid Waste*.

<sup>81</sup> VIII Censo agrícola, ganadero y forestal 2007, pág. 21 y 22.

De igual manera, el aprovechamiento con excretas bovinas lecheras podría generar 5.4 millones de toneladas anuales de metano y un potencial de generación de energía eléctrica de 2,645 a 5,447 MW. Al 30 de septiembre de 2007, en México existían 23.3 millones de cabezas de ganado bovino, localizadas principalmente en los estados de Veracruz, Jalisco, Chihuahua, Chiapas, Sonora, Durango y Tamaulipas, que en su conjunto concentraron el 47.8% del total nacional (véase Cuadro 18 y Mapa 7).

**Cuadro 18**  
**Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado bovino en el país**

|           | Cabezas de ganado (2007) | Potencial de generación de CH <sub>4</sub> <sup>82</sup> | Potencial de generación eléctrico biogás <sup>83</sup> |
|-----------|--------------------------|--|--|
|           | Miles de cabezas         | (miles ton/año)  | MW   |
|           | 0 - 100                  | 0 - 70   | 0 - 40   |
|           | 100 - 200                | 70 - 140   | 40 - 80  |
|           | 200 - 300                | 140 - 200  | 80 - 120   |
|           | 300 - 400                | 200 - 300  | 120 - 180  |
|           | 500 - 700                | 300 - 440  | 180 - 260  |
|           | 700 - 1,100              | 440 - 700  | 260 - 400  |
| Nacional. | 23,300 <sup>84</sup>     | 5,447 - 8,248  | 2,645 - 5,447  |

Fuente: SENER a partir de FIRCO-SAGARPA.

**Mapa 7**  
**Potencial de generación eléctrica por biogás por ganado bovino en el país**



Fuente: SENER a partir de FIRCO-SAGARPA.

<sup>82</sup> Schmidt, David. *Anaerobic Digestion Overview*.

[www.extension.umn.edu/capacity/afe/components/Powerpoints/SchmidtAndigest.ppt](http://www.extension.umn.edu/capacity/afe/components/Powerpoints/SchmidtAndigest.ppt)

<sup>83</sup> Dhussa, A.K., Vashney, A.K. (UNDP, 2000). *Energy Recovery from Municipal Solid Waste*.

<sup>84</sup> VIII Censo agrícola, ganadero y forestal 2007, pág. 21 y 22.

De acuerdo con el estudio elaborado por la consultora PWC para el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía<sup>85</sup>, en donde participaron los principales actores del sector por parte de instituciones públicas, privadas y la academia, se identificó un potencial máximo teórico de 3,642 MW a nivel nacional, a partir de la información y tecnologías vigentes (considerando rellenos sanitarios municipales, residuos agrícolas y ganaderos y biomasa forestal). Además, se consensó que existe un objetivo competitivo de 1,500 MW a partir de biomasa, contemplando el potencial identificado de sustituir hasta un 5% del carbón utilizado en Petacalco a partir de la biomasa de la copra<sup>86</sup> de la región. A partir de este potencial, se cuantificó que se podría tener un impacto en el PIB estimado en 37.5 miles de millones de pesos, 53.6 miles de millones de pesos de inversión con un 65% de contenido local e ingresos tributarios por 3.1 miles de millones de pesos. Dicha capacidad permitiría capturar un 8.6% de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> estimadas para el mismo periodo, reducir las pérdidas de transmisión y distribución de energía eléctrica del SEN y generar hasta 31,000 empleos directos e indirectos en los sectores involucrados de la industria nacional. Otros de los impactos esperados de dicha penetración serían la reducción en el número de incendios forestales, la reducción en la degradación y erosión de los suelos agrícolas y los impactos positivos sobre la migración desde México a Estados Unidos por falta de oportunidades laborales en el campo.

### 3.1.6. Energías oceánicas

De manera esquemática, las energías oceánicas se originan a partir del viento, los cambios de temperatura, salinidad y densidad de las masas de agua en diferentes regiones de la tierra y por las fuerzas de atracción gravitacional entre la tierra, el sol y la luna, principalmente; por esta diversidad de formas en que encontramos las energías del mar, se han desarrollado tecnologías para aprovechar cada una de ellas, mismas que se clasifican de la siguiente manera.

- Energía mareomotriz
- Undimotriz (de las olas)
- Corrientes marinas
- Maremotérmicas
- Gradiente salino

#### Situación actual

Actualmente, en México no se cuenta con ningún desarrollo piloto o comercial de centrales de generación de electricidad en operación con alguna de las formas de energía oceánica presentadas; sin embargo, se han desarrollado algunos prototipos de prueba en diversos institutos nacionales y se prevé que en el corto plazo se comiencen a desarrollar los primeros proyectos de generación, debido a la disminución sustancial de los costos de las tecnologías. Como muestra de ello, la CFE licitó en mayo de 2012 un proyecto piloto para generar energía undimotriz en el país con una capacidad de 3

<sup>85</sup> Sener, Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, elaborada por PWC.

<sup>86</sup> Pulpa seca del coco.

MW en las costas de Rosarito, Baja California, con lo cual la paraestatal aprenderá de este tipo de tecnología.

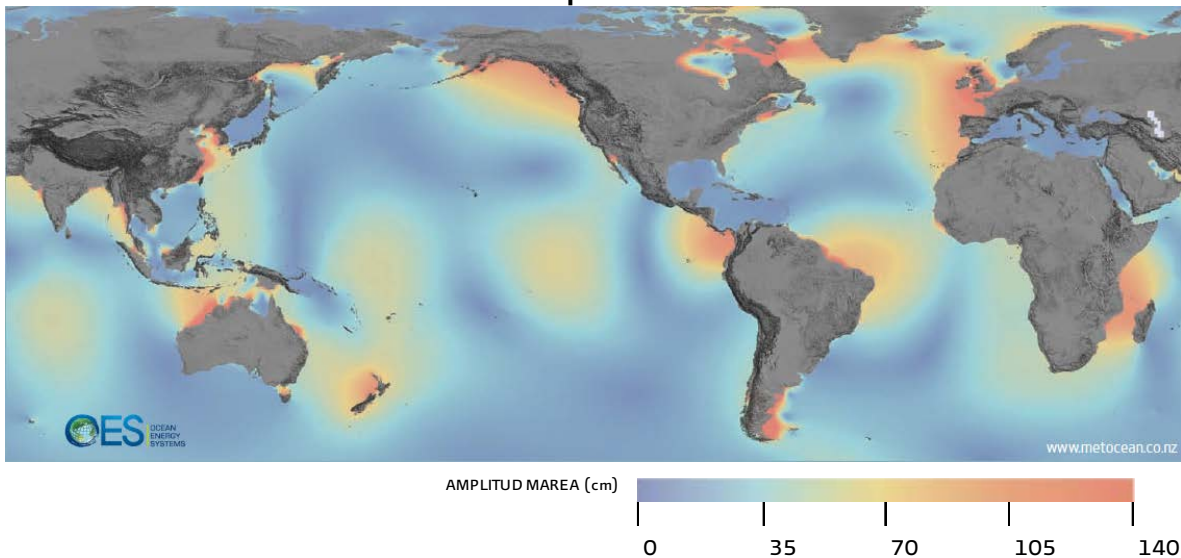
### Potencial de aprovechamiento

Los océanos poseen una cantidad enorme de energía; diversos estudios y análisis estiman que esta cantidad oscila alrededor de los 5,000 GW de potencia instalada de generación para su aprovechamiento en el mundo, aunque evidentemente sólo resulta factible aprovechar una porción de esta energía. En México se han realizado estudios muy generales del potencial del uso de las energías oceánicas en sus diferentes formas.

#### Energía mareomotriz

El país cuenta con un importante potencial de energía mareomotriz en la región del Alto Golfo de California (Mar de Cortés) donde podría disponerse, en un área de embalse de 2,590 km<sup>2</sup>, con una potencia máxima instalada de 26 GW y una producción de 23,000 GWh/año, misma que representa aproximadamente la producción total de todas las centrales hidroeléctricas del país (ver Mapa 8)<sup>87</sup>.

**Mapa 8**  
**Sitios en el mundo con importantes intervalos de marea**



Fuente: *An International Vision for Ocean Energy, Ocean Energy Systems Implementing Agreement*, IEA, 2011.

#### Energía undimotriz (de las olas)

Nuestro país goza de un vasto potencial respecto a esta fuente de energía oceánica por la gran extensión de litorales presentes en su geografía; sin embargo, debido al tamaño y potencia de sus

<sup>87</sup> López-González J. et al, (2009). Cuantificación de energía de una planta mareomotriz. II, UNAM.

olas, estos recursos no son los de mayor calidad en el mundo, ya que oscilan entre los 15 y 30 kW/m aproximadamente<sup>88</sup>.

## 3.2. Producción de calor a partir de fuentes renovables de energía

### 3.2.1. Geotermia de media y baja temperatura

#### Situación actual

Estudios realizados por la UNAM estiman que la capacidad instalada de geotermia para aplicaciones de media y baja temperaturas (que incluyen secado de productos agrícolas, balnearios y balneología, invernaderos, calefacción de edificios y cultivo de hongos) es de aproximadamente 164 MW térmicos (véase Cuadro 19). Estos recursos se encuentran distribuidos en 19 estados de la República<sup>89</sup>.

**Cuadro 19**  
**Estimación de la utilización directa del calor geotérmico en aplicaciones de media y baja temperaturas, 2005**

| Tipo                          | Capacidad (MW) | Energía (TJ/año) |
|-------------------------------|----------------|------------------|
| Secado de productos agrícolas | 0.01           | 0.18             |
| Balnearios y balneología      | 164.00         | 3913.44          |
| Invernaderos                  | 0.00           | 0.11             |
| Calefacción de edificios      | 0.46           | 13.19            |
| Otros (cultivo de hongos)     | 0.17           | 4.95             |
| <b>Total</b>                  | <b>164.64</b>  | <b>3931.87</b>   |

Fuente: Santoyo-Gutiérrez E. y Torres-Alvarado I. (2010)

La CFE ha realizado algunos proyectos piloto sobre usos directos en los campos geotérmicos en Cerro Prieto, Los Azufres y Los Humeros. Asimismo, se han realizado trabajos de investigación con bombas de calor operadas con energía geotérmica para aplicaciones de refrigeración y purificación de efluentes industriales<sup>90</sup>.

<sup>88</sup> Central Energía, (2010). Disponible en: <http://centralenergia.cl/2010/10/04/potencial-maremotriz-de-chile/>

<sup>89</sup> Santoyo-Gutiérrez E. y Torres-Alvarado I. (2010). Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. Revista Digital Universitaria. México DF, UNAM. 11: 26.

<sup>90</sup> Iglesias E., Arellano V., et al. (2005). Estimación del recurso y prospectiva tecnológica de la geotermia en México. Cuernavaca, Instituto de Investigaciones Eléctricas: 63.



## Potencial de aprovechamiento

### Reservas de media y baja temperaturas

De acuerdo con estudios de la CFE y del IIE, existe una reserva geotérmica de mediana y baja temperatura en una franja de 900 km de largo por 4 km de ancho en el Cinturón Volcánico Mexicano en el centro del país, con un espesor de reservorio supuesto de 2 km, una temperatura media de 125 °C y un potencial estimado de aprovechamiento de 31,498 MWe. Asimismo, en la región norte del país se encuentra otra de estas reservas, con un área total de 2,000 km<sup>2</sup>, un espesor de 1.5 km y una temperatura media de 135°C, en una zona que abarca principalmente el Valle de Mexicali, la Laguna Salada y el Desierto de Altar; el potencial estimado es de 14,317 MWe. En total, el potencial de mediana y baja temperaturas resulta ser de 45,815 MWe<sup>91</sup>.

Por otra parte, el estudio más reciente desarrollado por el IIE<sup>92</sup> presenta una base de datos de recursos geotérmicos de temperatura intermedia a baja ( $T < 200^{\circ}\text{C}$ ), que incluye la información y análisis de 2,361 manifestaciones geotérmicas superficiales (manantiales, fumarolas, pozos de agua, volcanes de lodo, etc.). En el Mapa 9, se presenta la distribución geográfica de las mismas y la ubicación de los cuatro campos geotérmicos explotados actualmente en México.

**Mapa 9**  
**Distribución geográfica de manifestaciones geotérmicas superficiales ( $T < 200^{\circ}\text{C}$ )**



Fuente: IIE.

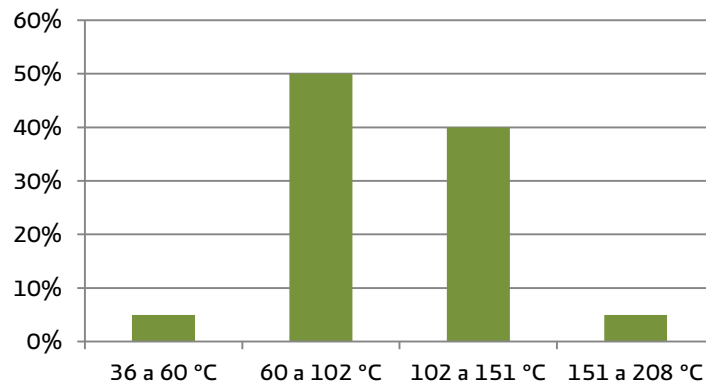
<sup>91</sup> Iglesias E., Arellano V., et al. (2005). Estimación del recurso y prospectiva tecnológica de la geotermia en México. Cuernavaca, Instituto de Investigaciones Eléctricas: 63.

<sup>92</sup> Iglesias E., et al. (2010). Resumen de la evaluación 2010 de los recursos geotérmicos mexicanos de temperatura intermedia a baja. IIE.

Después de la eliminación de 24% de las manifestaciones geotérmicas superficiales de la base de datos, debido a la carencia de ciertos parámetros necesarios para el cálculo de los potenciales energéticos, se llegó a la estimación del potencial en 1,797 manifestaciones superficiales agrupadas en 918 localidades geotérmicas, localizadas en 26 estados de la República Mexicana. La estimación indica que existe un potencial en el intervalo de 1,168 a 1,274 EJ con 90% de confianza; esta estimación representa una cota inferior para los recursos geotérmicos de temperatura intermedia a baja, ya que incorpora solamente el 76% de las manifestaciones superficiales catalogadas y podrían existir otros recursos geotérmicos aún no identificados.

Las temperaturas de yacimiento más probables estimadas para los 918 sistemas geotérmicos se distribuyen en el intervalo de 36 a 208°C como se muestra en la Gráfica 19<sup>93</sup>.

**Gráfica 19**  
**Distribución porcentual de sistemas geotérmicos por intervalo de temperaturas**



Fuente: SENER con información del IIE.

Estas temperaturas son potencialmente útiles para una gran cantidad de aplicaciones en el entorno económico de México, como el secado de frutas, cereales y bloques de cemento, la evaporación de leche, el calor de proceso para las industrias textil, papelera, azucarera, cervecera, entre otras, los invernaderos, la cría de peces y los balnearios. Los sistemas de temperaturas más altas podrían ser utilizados para la generación eléctrica y en aplicaciones en cascada.

### 3.2.2. Solar térmica de media y baja temperaturas

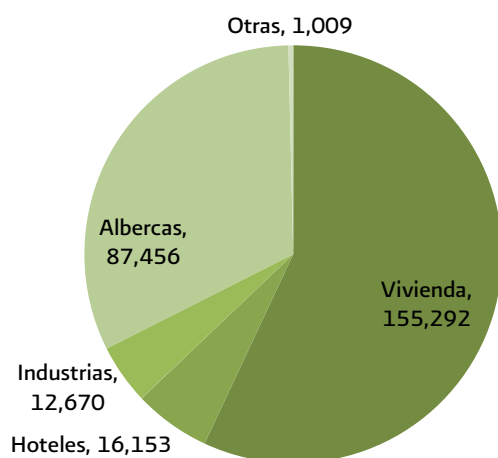
#### Situación actual

En la actualidad, la energía solar térmica en México se aplica fundamentalmente en el calentamiento de agua para usos residenciales, institucionales y recreativos; de acuerdo con estadísticas de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y la SENER, hasta el año 2010 se encontraban instalados cerca de 1.66 millones de metros cuadrados de superficie de colección, con

<sup>93</sup> Iglesias E., et al. (2010). Resumen de la evaluación 2010 de los recursos geotérmicos mexicanos de temperatura intermedia a baja. IIE.

una generación de calor útil de 1,332.78 GWh/año. La distribución de la capacidad instalada en el año 2010 se puede apreciar en la Gráfica 20<sup>94</sup>.

**Gráfica 20**  
**Superficie instalada de calentadores solares de agua en México en 2010**  
**(m<sup>2</sup>)**



Fuente: SENER, 2010<sup>95</sup>

### Potencial de aprovechamiento

Una estimación realizada con base en los consumos actuales de energéticos y el número de instalaciones existentes para varios tipos de usuarios, considerando tanto las tasas de reposición de los equipos, el crecimiento de la economía<sup>96</sup> y del sector residencial en particular, ubica un potencial de mercado de más de dos millones de metros cuadrados de calentadores solares de agua al año (véase Cuadro 20)<sup>97</sup>, lo que podría significar un crecimiento anual del 32% durante los siguientes 10 años.

<sup>94</sup> ANES. (2010). "Balance Nacional de Energía 2010" Obtenido el 1o de diciembre de 2011, de la página [http://www.anes.org/anes/index.php?option=com\\_wrapper&Itemid=13](http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=13).

<sup>95</sup> Estimación propia con información de la ANES.

<sup>96</sup> Tasa media de crecimiento anual (tmca) del Producto Interno Bruto (PIB) de 3.5%.

<sup>97</sup> CONAE (2007). Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. México: 100.

**Cuadro 20**  
**Potencial estimado de instalación de sistemas de calentamiento solar de agua**  
**(m<sup>2</sup>/año)**

| Sector                  | Existente        | Nueva construcción | Subtotal         |
|-------------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Residencial             | 920,000          | 684,000            | 1,604,000        |
| Hoteles                 | 98,787           | 69,151             | 167,937          |
| Hospitales              | 6,098            | 4,269              | 10,367           |
| Industria embotelladora | 100,006          | 70,004             | 170,011          |
| Agronegocios            | 98,787           | 69,151             | 167,937          |
| <b>Total</b>            | <b>1,223,678</b> | <b>896,575</b>     | <b>2,120,252</b> |

Fuente: Estimaciones a 2010 de SENER, a partir de evaluaciones de ENTE, S.C. en 2007.

### 3.2.3. Bioenergéticos para la generación de calor

#### Situación actual

##### Leña

Algunos estudios señalan que la biomasa destinada a la producción de carbón vegetal en México, representa 35%<sup>98</sup> del consumo para el uso residencial; y que el uso de la leña se concentra principalmente en el centro- sur del país.

El 89% de la población rural en México (25 millones de personas) generan calor a partir de la leña, principalmente para la cocción de alimentos y como combustible en pequeñas industrias como ladrilleras, panaderías, tortillerías, entre otras, por lo que representa una opción viable para el desarrollo de la energía renovable. En el Mapa 10, se puede observar la evolución del Programa de estufas ahorradoras de leña, que implementa la SEMARNAT, durante el período comprendido entre 2008 y 2010, mismo que permite inferir el consumo de leña en los hogares.

Con la finalidad de evitar el consumo de 670,000 toneladas de leña, y la tala de 3.5 millones de árboles por año, la SEMARNAT estableció en el Programa Especial del Cambio Climático (PECC), la meta de instalar 600,000 estufas ahorradoras de leña para el año 2012<sup>99</sup>, de las cuales la SEDESOL tiene como propósito la instalación de 500,000 estufas (sumándose a dicho esfuerzo la CONAFOR y la Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas), y la SAGARPA, con su Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), se comprometió a instalar las 100,000 estufas restantes.

Entre el periodo 2008-2011 se instalaron 354,606 estufas eficientes de leña con lo que se presenta un avance del 59% en el cumplimiento de la meta comprometida en el PECC al 2012<sup>100</sup>.

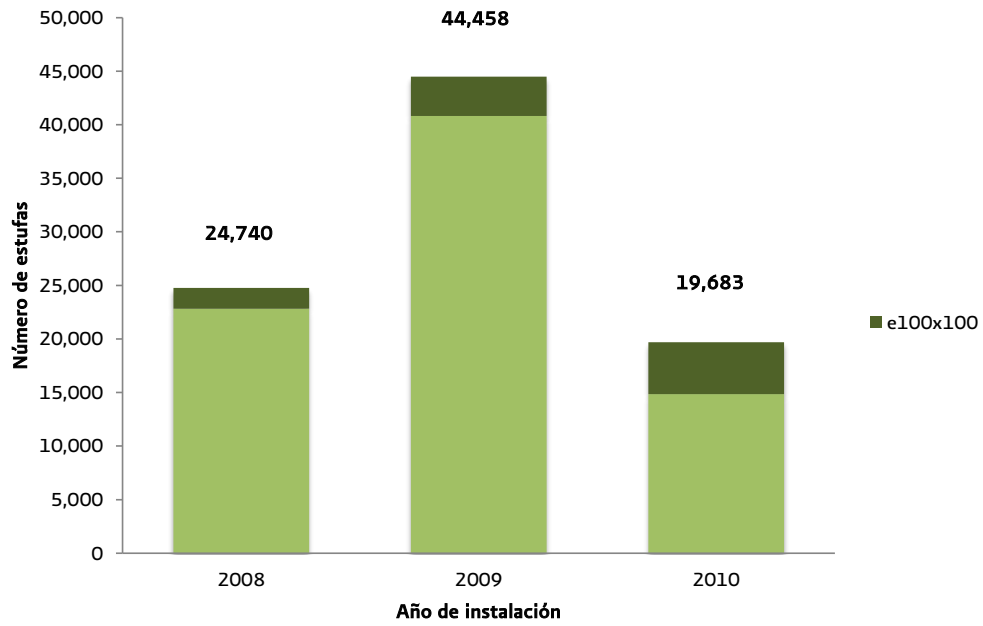
De acuerdo a información desagregada disponible de la CONAFOR, en el periodo 2008-2010, esta dependencia apoyó la instalación de 88,881 estufas rurales ahorradoras de leña, con una inversión de más de 127 millones de pesos (véase Gráfica 21).

<sup>98</sup> Masera, O, Coord. LA BIOENERGÍA EN MÉXICO. Un catalizador del desarrollo sustentable. REMBIO. México, 2005.

<sup>99</sup> Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012, emitido por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Publicado en el DOF con fecha 28/08/2009.

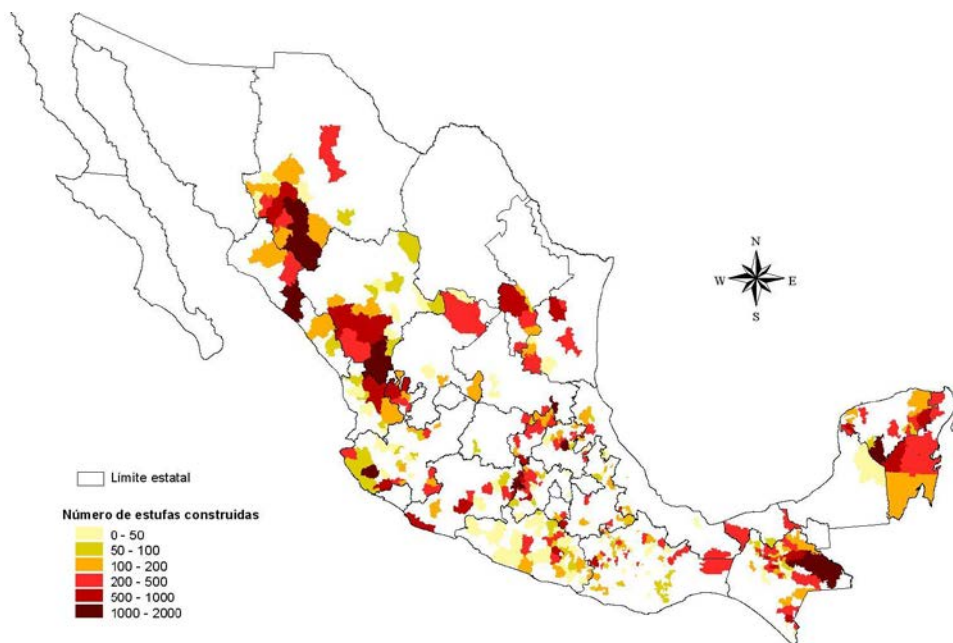
<sup>100</sup> Informe de Avances del Programa Especial de Cambio Climático, 2009 – 2012, SEMARNAT, 2012.

**Gráfica 21**  
**Programa de estufas ahorradoras de leña**



Fuente: CONAFOR.

**Mapa 10**  
**Distribución de las estufas ahorradoras de leña con apoyos de la CONAFOR durante 2008-2010**



Fuente: CONAFOR

## Potencial de aprovechamiento

Respecto del potencial de aprovechamiento de la leña, se considera al potencial energético de la biomasa como una de las principales fuentes de bioenergía, y señala que, del total de la producción técnica potencial, son los combustibles de madera los que tienen un mayor alcance, con un promedio de 1,800 PJ/año. La misma tendencia se muestra en el estudio financiado por el Banco Mundial, sobre la disminución de emisiones de carbono en México<sup>101</sup>, donde se estima que el potencial energético total de 3,570 PJ/año, los combustibles de madera producen 54%. El potencial del país para producir dendrocombustibles se estima entre 55 – 59 millones de toneladas anuales (FAO, 2010).

Con los apoyos del Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales y el Programa ProÁrbol, durante el período 2004-2010 se establecieron 412 Ha de plantaciones con fines dendroenergéticos.

**Cuadro 21**  
**Plantaciones forestales dendroenergéticas**

| Estado                | Especie                           | 2004      | 2005       | 2006       | 2008      | 2009     | 2010     | Total      |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|----------|----------|------------|
| Guanajuato            | <i>Eucalyptus spp.</i>            |           |            |            |           |          |          | 73         |
|                       | <i>Pinus spp.</i>                 |           | 67         | 66         |           |          | 7        | 149        |
|                       | <i>Acacia sp.</i>                 |           | 83         | 26         |           |          |          | 26         |
|                       | <i>Prosopis sp.</i>               |           |            | 23         |           |          |          | 23         |
|                       | <b>Total Guanajuato</b>           |           | 150        | 115        |           |          | 7        | 271        |
| Jalisco               | <i>Eucalyptus spp.</i>            |           |            |            |           |          | 4        | 4          |
|                       | <i>Tabebuia rosae</i>             |           |            | 18         |           |          |          | 18         |
|                       | <b>Total Jalisco</b>              |           |            | 18         |           |          | 4        | 22         |
| México                | <i>Pinus spp.</i>                 |           | 23         | 46         |           |          |          | 69         |
| <b>Total México</b>   |                                   |           | 23         | 46         |           |          |          | 69         |
| Michoacán             | <i>Pinus spp.</i>                 |           |            | 1          |           |          |          | 1          |
|                       | <b>Total Michoacán</b>            |           |            | 1          |           |          |          | 1          |
| Sinaloa               | <i>Caesalpinia platyloba spp.</i> |           |            |            | 10        |          |          | 10         |
| <b>Total Sinaloa</b>  |                                   |           |            |            | 10        |          |          | 10         |
| Veracruz              | <i>Gliricidia sepium</i>          | 39        |            |            |           |          |          | 39         |
| <b>Total Veracruz</b> |                                   | 39        |            |            |           |          |          | 39         |
| <b>Total general</b>  |                                   | <b>39</b> | <b>172</b> | <b>180</b> | <b>10</b> | <b>7</b> | <b>4</b> | <b>412</b> |

Fuente: CONAFOR.

<sup>101</sup> Banco Mundial 2008, Reporte "México: Estudio para la Disminución de Emisiones de Carbono (MEDEC)", preparado para el Banco Mundial en cooperación con el gobierno de México a través de SEMARNAT y SENER.

### 3.3. Producción de biocombustibles

#### Situación actual

Al mes de Junio del 2012 la SENER ha otorgado 29 permisos para la producción, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de Bioenergéticos, de los cuales, 26 permisos fueron de comercialización, 2 permisos la producción y almacenamiento, y 1 permiso para el transporte.

Asimismo, de conformidad con lo establecido en el párrafo segundo del lineamiento sexto de los *Lineamientos para el otorgamiento de permisos para la producción, el almacenamiento, el transporte y la comercialización de bioenergéticos del tipo etanol anhidro y biodiésel*, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de noviembre de 2009, la SENER ha recibido 7 avisos de excepción de permiso para la producción de biodiésel en capacidades de producción de hasta 500 litros diarios y de almacenamiento de hasta 1000 litros diarios.

Para la producción de bioenergéticos se han establecido diversos programas, tales como el “Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico 2009-2012”, a cargo de la SAGARPA; y “los programas en materia de bioenergéticos”, a cargo de la SENER.

El *Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico 2009-2012* tiene como objetivo fomentar la producción sustentable de insumos para bioenergéticos y su comercialización, dando certidumbre, aumentando la competitividad y la rentabilidad del campo mexicano por medio del desarrollo científico y tecnológico. En este sentido, este programa considera a los cultivos de remolacha, sorgo dulce, caña de azúcar, *jatropha*, higuera y palma de aceite, como algunas de las posibilidades que tiene México para la generación de bioenergéticos a partir de biomasa. El avance en las investigaciones en esta materia establecerá cuales de estos cultivos tienen el potencial para la producción de biocombustibles y cuáles serán incluidos con base en la rentabilidad económica que presenten. Posteriormente se podrán ir sumando la segunda y tercera generación de cultivos bioenergéticos, a través del óptimo desarrollo científico y tecnológico.

#### Biodiésel

Como ya se mencionó, se han realizado esfuerzos para impulsar la producción de insumos para biocombustibles, como es el caso del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que cuenta con 28 centros de investigación para generar paquetes tecnológicos para obtener insumos rentables de alta calidad, conforme a las diferentes regiones agroclimáticas del país. Estos permiten impulsar el desarrollo sustentable del campo mexicano sin dañar el entorno ambiental y, a su vez, trabajar en la certificación de variedades de semillas que permitan a los productores cumplir dichos objetivos.

Con apoyo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a través de su Programa ProÁrbol 2007-2011, se han sembrado 8,113 hectáreas de *jatropha* (véase Cuadro 22), para lo cual se estima que los apoyos económicos otorgados por dicha Institución ascienden a la cantidad de \$30'250,100.00 de pesos.

**Cuadro 22**  
**Programa ProÁrbol 2007-2011**  
**(Ha sembradas de *jatropha*)**

| Superficie<br>(ha sembradas) | Año  |      |       |       |       |
|------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| Estado                       | 2008 | 2009 | 2010  | 2011  | TOTAL |
| Chiapas                      | 272  | 811  | 2,022 | 1,097 | 4,202 |
| Guerrero                     | -    | 18   | 98    | -     | 116   |
| Michoacán                    | 10   | 77   | 136   | 493   | 716   |
| Morelos                      | -    | -    | 6     | -     | 6     |
| Oaxaca                       | -    | 67   | 8     | 47    | 122   |
| Yucatán                      | -    | 23   | 1,530 | 1,398 | 2,951 |
| Total                        | 282  | 996  | 3,800 | 3,035 | 8,113 |

Fuente: CONAFOR.

### Etanol

De los ingenios azucareros que existen en México, sólo 18 cuentan con una destilería para la producción de etanol, y solamente producen alcohol ocho: Ingenio La Concepción (19,751 m<sup>3</sup>/año); Ingenio San José de Abajo (2,027 m<sup>3</sup>/año); Ingenio San Nicolás (4,159 m<sup>3</sup>/año); Ingenio Constanza (1,709 m<sup>3</sup>/año); Ingenio Puljitic (8,640 m<sup>3</sup>/año); Ingenio Tamazula (1,795 m<sup>3</sup>/año); Ingenio Calipan (426 m<sup>3</sup>/año) e Ingenio San Pedro (196 m<sup>3</sup>/año). Dicha producción se destina a satisfacer la demanda de bebidas alcohólicas y de la industria química<sup>102</sup>.

Asimismo, la SENER tiene identificados 13 proyectos de investigación para la producción de etanol de segunda generación, por medio de residuos y algas, siendo el proyecto más relevante el de la empresa BLUE FUEL S.A.P.I de C.V., ubicado en el estado de Jalisco, el cual consiste en producir etanol anhidro a partir de agave y residuos, con un potencial aproximado de 9.2 millones de litros mensuales.

### Bioturbosina

La tendencia en la aviación mundial es el establecimiento de requerimientos para el uso de combustibles alternativos, por lo que México requiere empezar a incorporar bioqueroseno parafínico sintetizado en la turbosina tradicional, con base en la ASTM D7566-11, publicada el 1° de julio de 2011.

En ese sentido, México tiene un gran potencial para incorporar bioturbosina en el combustible que se comercializa a través de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA).

### Potencial de aprovechamiento

El crecimiento del sector agroindustrial tiene como consecuencia una mayor participación en el comercio exterior, por lo que, tanto para las exportaciones como para las importaciones, el intercambio comercial agroindustrial supera en valor al efectuado por el sector primario, siendo

<sup>102</sup> Información de la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA), [www.camaraazucarera.org.mx](http://www.camaraazucarera.org.mx)



previsible que dicha tendencia se mantenga en el futuro. En los últimos dos años, las exportaciones del sector agroalimentario se mantuvieron en un intervalo ligeramente superior a 16 mil millones de dólares, mientras que las importaciones disminuyeron 20%, para ubicarse en 18.9 mil millones de dólares en el año 2009. Con esa reducción, el balance que en años previos había registrado déficits superiores a 5 mil millones, se redujo a 2.8 en 2009.

La superficie cosechada en los años recientes se ha ubicado alrededor de las 20 millones de hectáreas. En el 2008, se recolectaron cuatro productos principales en el 63.5% de esa superficie: maíz, pastos, sorgo y frijol. Sin embargo, estos sólo representaron 35.9% del valor producido.

De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en México existen hasta 18 mil hectáreas con condiciones para cultivos agrícolas que, en su caso, podrían aprovecharse para convertirse en biocombustibles (véase Cuadro 23)<sup>103</sup>. El desarrollo de esta actividad agrícola depende, principalmente, de la disponibilidad de la tecnología necesaria para hacer competitiva su producción.

**Cuadro 23**  
**Potencial productivo de cultivos aptos para la producción de biocombustibles**  
**(Miles de hectáreas)**

| Cultivo             | Bioenergético | Potencial Medio | Potencial Alto | Localización   |
|---------------------|---------------|-----------------|----------------|--|
| Caña de azúcar      | Etanol        | 460             | 4,313          | 22 estados de la República   |
| Higuerrilla         | Biodiésel     | 3,960           | 6,345          | 30 estados de la República   |
| Jatrofa             | Biodiésel     | 2,620           | 3,468          | 28 estados de la República   |
| Palma de aceite     | Biodiésel     | 242             | 293            | Chiapas, Campeche, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Veracruz |
| Remolacha azucarera | Etanol        | 1,725           | 2,008          | 32 estados de la República   |
| Sorgo dulce         | Etanol        | 2,072           | 2,200          | 22 estados de la República   |

Fuente: INIFAP 2010.

<sup>103</sup> INIFAP. (2010). "Bioenergéticos." Obtenido el 1o de diciembre, 2010, de la página <http://www.agromapas.inifap.gob.mx/bioenergeticos.html>.



## Capítulo 4. Prospectiva de energías renovables 2012-2026

Conforme a la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables<sup>104</sup>, los programas en materia de bioenergéticos, el Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procalsol)<sup>105</sup> y la propia evolución o tendencia del mercado energético en los próximos años, se contempla la expansión de la infraestructura de aprovechamiento de energías renovables para generación de electricidad, de producción de calor y de los biocombustibles en México.

En este capítulo se aborda el escenario de cumplimiento de las metas de corto plazo a alcanzar en el año 2012 establecidas en el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables de alcanzar 7.6% de capacidad instalada mediante fuentes de energía renovable (eólica, mini hidráulica, geotérmica, biomasa y biogás); así como ampliar el portafolio energético del país a través del incremento del porcentaje de generación eléctrica mediante energías renovables para alcanzar el cierre de 2012, entre el 4.5 y 6.6%. Este Programa es una componente dentro de la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, que contribuye a la consecución de las metas que ha fijado la Secretaría de Energía para transitar hacia un sector energético sustentable reduciendo la generación de energía a partir de fuentes fósiles de energía.

La Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 representa el instrumento de planeación del sector con visión de largo plazo en el que la Secretaría de Energía ha fijado metas a alcanzar en un horizonte de 15 años. En ella se establece la meta de incrementar la participación de energías limpias en la de generación eléctrica a 35% del total para el 2026, las cuales incluye a las fuentes renovables, grandes hidroeléctricas, carboeléctricas y ciclos combinados que cuenten con captura y secuestro de carbono (CO<sub>2</sub>) y energía nuclear.

Se incluye un análisis de la consecución de las metas establecidas en el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables (capacidad de generación eléctrica y energía generada), con información confiable que permite vislumbrar con un grado de precisión aceptable el resultado al cierre de la presente Administración. No obstante, el análisis del cumplimiento de las metas establecidas en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 requiere de evaluación y monitoreo de acciones que permitan alcanzar las metas a lo largo del horizonte de planeación.

En este capítulo se presentan las proyecciones de esta infraestructura al 2026 en tres escenarios de desarrollo: bajo, planeación y alto.

<sup>104</sup> <http://www.SENER.gob.mx/res/O/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>

<sup>105</sup> <http://www.conae.gob.mx/work/images/Procalsol.pdf>

## Escenarios de planeación

Los escenarios de planeación considerados establecen un intervalo de variación en el cual se espera que se desarrollen las diversas fuentes renovables de energía y grandes hidroeléctricas. Esto, de acuerdo con la evolución esperada de la economía, los requerimientos energéticos de la misma y el decaimiento en los costos de estas tecnologías, así como del crecimiento en los costos de las fuentes energéticas convencionales. De esta forma se considerarán lo siguientes supuestos para cada escenario de desarrollo:

- Escenario bajo.- Representa una baja penetración de las fuentes renovables de energía y grandes hidroeléctricas, con una tasa media de crecimiento anual (tmca) de la economía de tan sólo 2.9%, y tasas medias esperadas de decrecimiento de los costos y curvas de penetración de las diversas tecnologías renovables.
- Escenario de planeación.- Representa la base o el centro de las fuentes renovables de energía y grandes hidroeléctricas, con una tasa media de crecimiento anual de la economía de 3.6%, y tasas medias esperadas de decrecimiento de los costos y curvas de penetración de las diversas tecnologías renovables.
- Escenario alto.- Representa una alta penetración de las fuentes renovables de energía y grandes hidroeléctricas, con una tasa media de crecimiento anual de la economía de 4.3%, y tasas medias esperadas de decrecimiento de los costos y curvas de penetración de las diversas tecnologías renovables.

Esto permite vislumbrar el rumbo que podrá seguir el desarrollo de las energías renovables en nuestro país bajo las condiciones económicas actuales, así como el marco legal y regulatorio. El análisis que se presenta en esta sección servirá a la SENER para identificar y promover acciones específicas que permitan un desarrollo de la industria de las energías renovables, incrementar el aprovechamiento de estas fuentes de energía en el ámbito público y privado en el corto, mediano y largo plazo.

## 4.1. Prospectiva de generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía

### 4.1.1. Requerimientos de capacidad adicional

En esta sección se presentan los requerimientos de capacidad adicional para servicio público y autoabastecimiento de energía eléctrica con energía renovable, calculados con base en las proyecciones de la demanda y consumo de electricidad, los cuales son necesarios para satisfacer el crecimiento del consumo de energía para los próximos años, lo cual se prevé permitirá al país incrementar la participación de energías limpias en la de generación eléctrica a 35% del total para el 2026, en los todos los escenarios planteados.

Estas proyecciones parten de las cifras definidas en la Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026, las cuales se fundamentan en el análisis de la información sobre el consumo de electricidad de los diversos tipos de usuarios; así como de la evolución esperada de la economía, entre otras

variables. Este análisis resulta en proyecciones de capacidad de generación para servicio público y para autoabastecimiento remoto<sup>106</sup> e integra las consideraciones a las metas establecidas en el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables y en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, las cuales son:

- Aumentar a 7.6% la capacidad de generación eléctrica mediante fuentes de energía renovable al 2012.
- Incrementar al 35% la participación de las tecnologías limpias en la generación eléctrica para el 2026.

### Situación en 2011 del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Al finalizar el año 2011, el SEN contaba con una capacidad efectiva instalada de 60,845 MW, donde el 86.3% correspondía a servicio público y el 13.7% a permisionarios (véase Cuadro 24).

**Cuadro 24**  
**Capacidad efectiva instalada en el sector eléctrico nacional en 2011**  
**(MW)**

| Tecnología                  | Servicio público | Permisionarios <sup>1</sup> | Total           |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------|
| Ciclo combinado             | 18,029.3         | 1,191.7                     | 19,221.0        |
| Termoeléctrica convencional | 12,560.1         | 1,845.4 <sup>2</sup>        | 13,825.5        |
| Hidroeléctrica > 30 MW      | 11,212.6         | 0.0                         | 11,212.6        |
| Carboeléctrica              | 3,278.4          | 65.0                        | 3,343.4         |
| Dual                        | 2,100.0          | 0.0                         | 2,100.0         |
| Turbogás                    | 2,495.4          | 2,982.9                     | 5,478.3         |
| Nucleoeléctrica             | 1,364.9          | 0.0                         | 1,364.9         |
| Geotermia                   | 886.6            | 0.0                         | 886.6           |
| Combustión interna          | 210.9            | 931.4                       | 1,142.3         |
| Frenos regenerativos        | 0.0              | 6.6                         | 6.6             |
| Hidroeléctrica ≤ 30 MW      | 286.6            | 147.0                       | 433.6           |
| Eólico                      | 86.8             | 588.3                       | 675.1           |
| Bioenergía                  | 0.0              | 575.1                       | 575.1           |
| <b>Total</b>                | <b>52,511.5</b>  | <b>8,333.4</b>              | <b>60,844.9</b> |

<sup>1</sup> Incluye sólo plantas en operación; no incluye PIE ni permisos de exportación e importación

<sup>2</sup> Incluye 580 MW de centrales que operan con tecnología de lecho fluidizado.

Fuente: CFE y CRE.

Del total de la capacidad efectiva instalada en el sector eléctrico nacional, 24.9% correspondió a tecnologías limpias, compuestas de la siguiente forma: 4.2% correspondió a energías renovables

<sup>106</sup> Como autoabastecimiento remoto se refiere a la capacidad de generación, que en el régimen de autoabastecimiento, se realiza con plantas ubicadas fuera de las instalaciones de uso final de la electricidad, utilizando las redes de transmisión y distribución eléctrica.

(sin incluir grandes hidroeléctricas), 18.4% a grandes hidroeléctricas (> 30 MW) y 2.24% a la energía nuclear.

### **Desarrollo de nuevas Temporadas Abiertas**

Con el fin de fomentar la participación de inversionistas privados y de regular el acceso de dichos proyectos a la infraestructura de transmisión de energía eléctrica de la CFE, se llevó a cabo el esquema de Temporada Abierta para la reserva de capacidad de transmisión y transformación de energía eléctrica. Se trata de un ejercicio de subasta en donde los privados subastan la capacidad que quieren reservar para generar energía eléctrica y ésta les sea pagada por la CFE.

El desarrollo del ejercicio de Temporada Abierta permitió atraer inversiones y proyectos para impulsar el desarrollo de las energías renovables. El desarrollo de la primera Temporada Abierta en el mes de agosto de 2012 tiene actualmente en operación 606.5 MW de capacidad eólica bajo la modalidad de autoabastecimiento, en la zona del Istmo de Tehuantepec; 1,044 MW adicionales entrarán en operación entre 2012 y 2014 y 511.85 MW de Productores Independientes de Energía para servicio público de CFE, (de los cuales 306 MW fueron inaugurados el 7 de marzo de 2012).

Este esquema está siendo replicado nuevamente para los estados de Oaxaca, Baja California, Puebla y Tamaulipas. El 8 de agosto de 2011, se publicó en el DOF el Acuerdo por el que la CRE emitió una convocatoria para la celebración de la Segunda Temporada Abierta. Para el Estado de Puebla se declaró desierto por falta de interés.

El total de capacidad solicitada en MW por parte de los privados para la línea de transmisión para el estado de Oaxaca en esta Segunda Temporada abierta es de 1,130 MW para privados, y 800 MW por parte de CFE. Lo anterior suma un total de 1,930 MW.

Para los estados de Tamaulipas y Baja California, se tiene una capacidad total para las líneas de transmisión en los dos estados de aproximadamente 2,551.5 MW. Al cierre de 2011 el procedimiento se encontraba en etapa de definición de reserva capacidad final.

#### **4.1.2. Proyecciones de capacidad instalada total y de fuentes renovables**

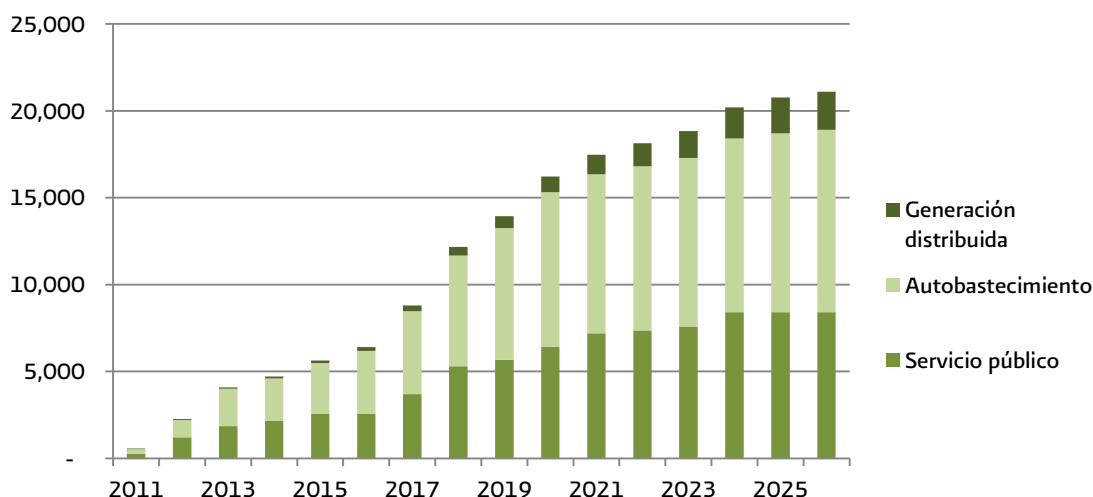
Las proyecciones de capacidad instalada en esta prospectiva consideran las instalaciones que enumera la Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026 para servicio público y autoabastecimiento remoto e integra proyecciones de autoabastecimiento con pequeñas instalaciones (en media y baja tensiones) en el sitio mismo donde se consume y dimensionadas para cubrir parcial o totalmente las necesidades del usuario.

Este componente se denomina generación distribuida, el cual no forma parte de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026, y se justifica en función de la rentabilidad que, para el propio usuario, tiene la inversión en estos sistemas. Su participación se dimensiona, básicamente, con proyecciones de evolución de los costos unitarios de las tecnologías, de las tarifas eléctricas y de factores de aceptación y adopción de los usuarios a estas opciones.

Para 2026 se espera que la capacidad adicional instalada con energías renovables y grandes hidroeléctricas sea de 18,505 MW, 20,545 MW y 22,788 MW en los escenarios bajo, de

planeación y alto, respectivamente, con 39.7% correspondiente a servicio público, 49.8% a autoabastecimiento y 10.5% a generación distribuida (véase Gráfica 22).

**Gráfica 22**  
**Evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables en el Sistema Eléctrico Nacional de acuerdo con la forma de integración con la red, 2012-2026 (Escenario de planeación) (MW)**



Fuente: SENER con base en información de CFE y la CRE.

De acuerdo con la forma de integración con la red eléctrica, se estima que para el año 2026 las instalaciones de generación eléctrica con energías renovables y grandes hidroeléctricas, al incorporarse en la modalidad de servicio público, sumen una capacidad de 8,160 MW en el escenario de planeación (Escenario bajo=7,346 MW y Escenario alto=9,054 MW); 3,219 MW para ser generados a partir de viento, 151 MW por geotermia,<sup>107</sup> 4,749 MW de grandes hidroeléctricas, 22 MW con pequeñas centrales hidroeléctricas, 6 MW con solar fotovoltaico y 14 MW con solar de concentración (véase Gráfica 23).

Es importante mencionar que este escenario se elaboró incrementando la participación de centrales eólicas; sin embargo, se espera que el resto de la generación con otras fuentes renovables comparta el porcentaje que se le asignó. En particular, la geotermia ha presentado bajos costos relativos. Si se logra contar con recursos geotérmicos equivalentes con la calidad de vapor de yacimientos encontrados hasta ahora, la generación geotérmica podría llegar a representar 2.3% de la capacidad total al 2026.

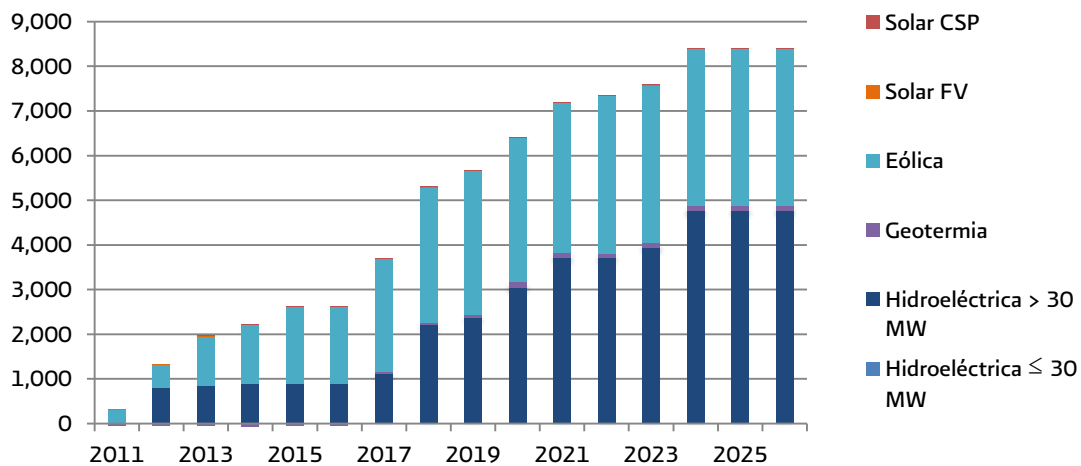
Por otro lado, también existe un potencial de penetración de la generación distribuida para el servicio público, en especial aquella con recursos renovables como solar y biogás. En cuanto al potencial de energía solar, algunos estados como Sonora, Chihuahua y Baja California poseen

<sup>107</sup> Valor neto.

extensiones territoriales y potencial suficiente para la instalación de capacidad de generación de electricidad a través de campos de concentración solar. También, la radiación solar a lo largo de la costa del pacífico y los Estados de la región noreste permitiría incrementar la instalación de paneles solares en territorio nacional.

Por ello, para poder tomar decisiones tanto en el mediano como en el largo plazo, es necesario realizar más estudios sobre la viabilidad técnica y financiera de estas fuentes.

**Gráfica 23**  
**Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables y nuevas grandes hidroeléctricas para servicio público, 2012-2026**  
**(Escenario de planeación)**  
**(MW)**



Fuente: CFE.

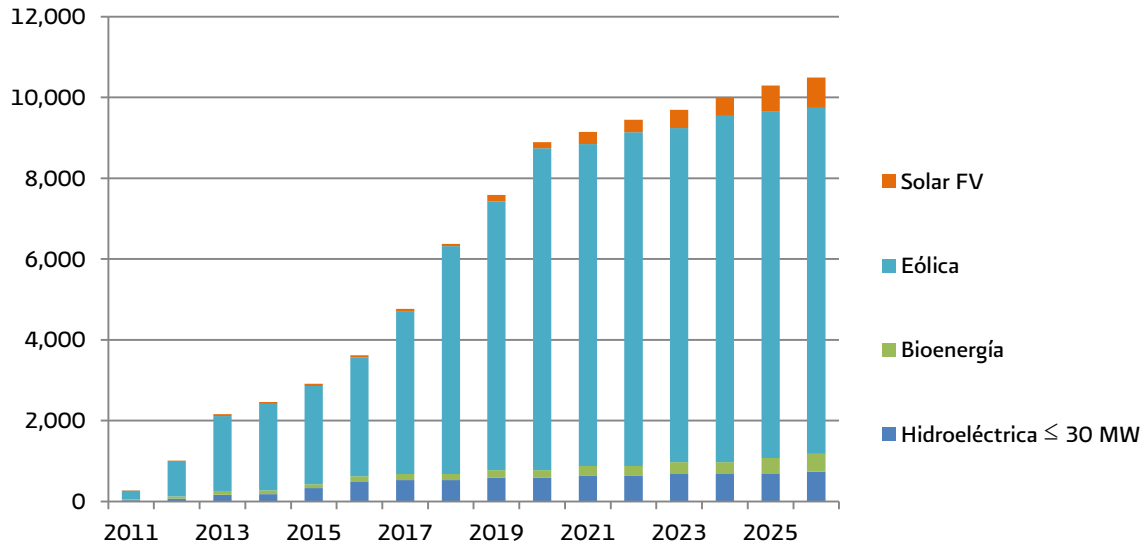
En lo que corresponde a la modalidad de autoabastecimiento, se estima para el 2026 se incorporen 10,228 MW en el escenario de planeación (Escenario bajo=9,214 MW y Escenario alto=11,344 MW). Con fuentes renovables de energía su distribución sería la siguiente: 81.6% (8,352 MW) en plantas eólicas, 7.4% (752 MW) con solar fotovoltaico, 6.9% (701 MW) con pequeña, mini y micro hidráulicas y 4.1% (422 MW) con bioenergía (véase Gráfica 24 y Gráfica 25).

Para el autoabastecimiento, no se consideran aún proyectos geotermoelectricos debido a los vacíos presentes en la Ley de Aguas Nacionales para el aprovechamiento de esta fuente de energía por privados. El estudio realizado por la consultora PWC<sup>108</sup> identifica dicha barrera y plantea acciones concretas para corregirla de manera que esta fuente renovable pueda ser también aprovechada en otras modalidades previstas de generación eléctrica.

<sup>108</sup> Sener, Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, elaborada por PWC.



**Gráfica 24**  
**Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables por autoabastecimiento, 2012-2026**  
**(Escenario de planeación)**  
**(MW)**



Fuente: CFE.

**Cuadro 25**  
**Programa de autoabastecimiento, 2011-2026**  
**(MW)**

| 2011   |       |               |      | 2012                                     |       |              |      |
|--|-------|---------------|------|--|-------|--------------|------|
| NOMBRE   | TIPO  | MW            | ÁREA | NOMBRE                                   | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Compañía de Energía Mexicana   | HID   | 29.7          | ORI  | Autoabastecimiento Renovable             | SOLAR | 2.8          | OCC  |
| Transformadora de Energía Eléctrica de Juárez  | BIO   | 6.0           | NTE  | Gamesa Energía (1a etapa)                | EOL   | 72.0         | ORI  |
| Ecosyst III  | BIO   | 1.7           | OCC  | Fuerza Eólica del Istmo (2a etapa)       | EOL   | 30.0         | ORI  |
| Fuerza Eólica del Istmo (1a etapa)   | EOL   | 50.0          | ORI  | Galectra (Grupo Salinas)                 | EOL   | 36.0         | ORI  |
| Desarrollos Eólicos Mexicanos (1a etapa)   | EOL   | 90.0          | ORI  | Eoliatec del Istmo (2a etapa)            | EOL   | 72.0         | ORI  |
| Piasa Cogeneración   | BIO   | 13.4          | ORI  | Eoliatec del Istmo (1a etapa)            | EOL   | 22.0         | ORI  |
| IBERDROLA Energía la Laguna  | CC    | 40.0          | NTE  | Eólica Sta. Catarina (Comexhidro)        | EOL   | 22.0         | NES  |
| Gobierno del Estado de Guerrero  | SOLAR | 1.0           | ORI  | Hidroatlíxco                             | HID   | 8.5          | ORI  |
| Soc. de Autoabastecimiento de Energía Verde de Ags.  | BIO   | 3.2           | OCC  | Desarrollos Eólicos Mexicanos (2a etapa) | EOL   | 137.5        | ORI  |
| Autoabastecimiento Renovable   | SOLAR | 1.0           | OCC  | Gamesa Energía (2a etapa)                | EOL   | 72.0         | ORI  |
| RumoCannon (1a fase)   | EOL   | 72.0          | BC   | Intavan México S.A de C.V (1a Etapa)     | EOL   | 45.0         | NES  |
| Mexicana de Hidroelectricidad Mexhidro   | HID   | -6.0          | ORI  |  |       |              |      |
| <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>  |       | <b>302.0</b>  |      | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>              |       | <b>519.8</b> |      |
| 2013   |       |               |      | 2014                                     |       |              |      |
| NOMBRE   | TIPO  | MW            | ÁREA | NOMBRE                                   | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Pemex Lázaro Cárdenas  | TG    | -5.2          | ORI  | Fuerza y Energía BII HIOXO (UF)          | EOL   | 227.5        | ORI  |
| Pemex Independencia  | TG    | -54.0         | ORI  | Compañía Eólica de Tamaulipas            | EOL   | 54.0         | NES  |
| Pemex Cactus   | TG    | -27.0         | ORI  | Electricidad del Istmo                   | HID   | 19.8         | ORI  |
| Pemex Cosoleacaque   | TG    | -17.0         | ORI  | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>              |       | <b>301.3</b> |      |
| Pemex Pajaritos  | TG    | -15.5         | ORI  |  |       |              |      |
| Pemex Escolin  | TG    | -28.0         | ORI  | 2015                                     |       |              |      |
| Pemex La Venta   | TG    | -14.0         | ORI  | NOMBRE                                   | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Pemex Petroquímica Morelos   | TG    | -25.6         | ORI  | Energía Eólica I                         | EOL   | 300.0        |      |
| CD Pemex   | TG    | -20.3         | ORI  | Mini Hidro I                             | HID   | 50.0         |      |
| Pemex Ref A. Dov.  | TG    | -2.1          | ORI  | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>              |       | <b>350.0</b> |      |
| Pemex Salamanca  | TG    | -1.5          | OCC  | 2016                                     |       |              |      |
| Bioeléctrica de Occidente  | BIO   | 9.0           | OCC  | NOMBRE                                   | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Los Vergeles (GSER)  | EOL   | 161.0         | NES  | Mini Hidro II                            | HID   | 50.0         |      |
| Energía Alterna Istmeña  | EOL   | 215.9         | ORI  | Biomasa I                                | BIO   | 50.0         |      |
| Eoliatec del Istmo (3ar etapa)   | EOL   | 70.0          | ORI  | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>              |       | <b>100.0</b> |      |
| Gamesa Energía (3a etapa)  | EOL   | 70.0          | ORI  | 2017                                     |       |              |      |
| Consorcio Integrador Sonora 80 M (1 Fase)  | SOLAR | 20.0          | NOR  | NOMBRE                                   | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Electricidad de Oriente  | HID   | 18.8          | ORI  | Energía Eólica II                        | EOL   | 300.0        |      |
| Electricidad del Golfo   | HID   | 29.7          | ORI  | Mini Hidro III                           | HID   | 50.0         |      |
| GDC Generadora (Grupo México)  | CC    | 180.0         | NOR  | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>              |       | <b>350.0</b> |      |
| Eoliatec del Pacífico (1a y 2a etapa)  | EOL   | 160.5         | ORI  |  |       |              |      |
| Energía Eólica Mareña (Preneal)  | EOL   | 180.0         | ORI  |  |       |              |      |
| Gamesa Energía (4a etapa)  | EOL   | 74.0          | ORI  |  |       |              |      |
| Nuevo Pemex  | CC    | 260.0         | ORI  |  |       |              |      |
| <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>  |       | <b>1238.7</b> |      | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>              |       | <b>350.0</b> |      |
| BIO: BIOENERGÍA CC: CICLO COMBINADO EOL: EÓLICA GEO: GEOTERMIA HID: HIDROELÉCTRICA<br>TC: TÉRMICA CONVENCIONAL TG:TURBOGAS |       |               |      |  |       |              |      |

Fuente: CFE<sup>109</sup>.

<sup>109</sup> El Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012-2026, contempla que en el período 2011-2014 se adicionarán 2,577 MW, posteriormente se estima la incorporación de 3,200 MW de capacidad a partir de energías renovables (eolieléctricas 1,800 MW, solar 700 MW, biomasa 350 MW, minihidro 350 MW). De esta forma, al final del periodo se agregarán 5,777 MW de capacidad de autoabastecimiento.

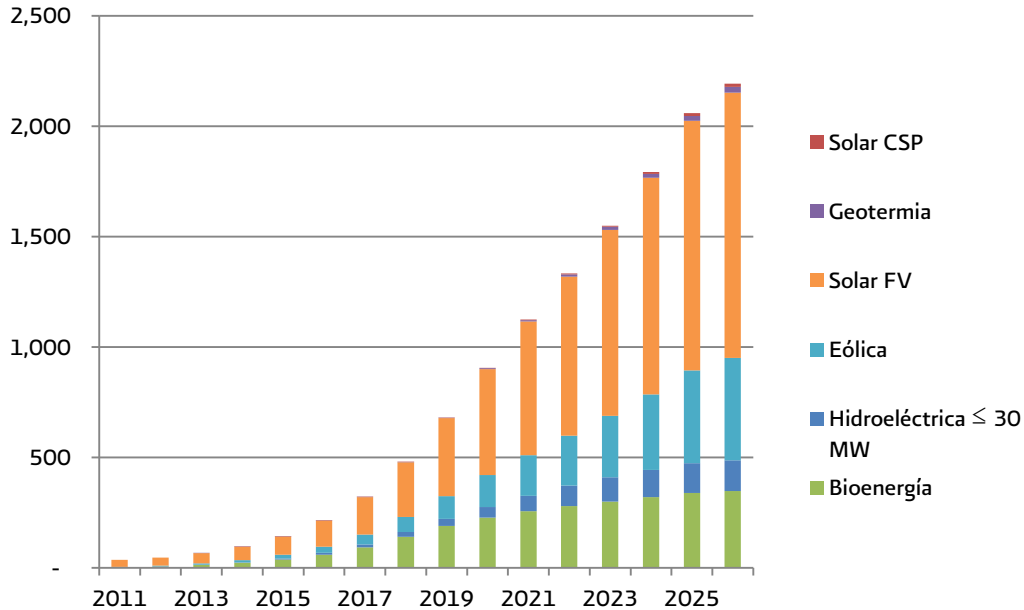
**Cuadro 25**  
**Programa de autoabastecimiento, 2011-2026**  
**(MW)**  
**(Continuación)**

| 2018  |       |              |      | 2019                        |       |              |      |
|---|-------|--------------|------|-----------------------------|-------|--------------|------|
| NOMBRE  | TIPO  | MW           | ÁREA | NOMBRE                      | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Energía Eólica III  | EOL   | 300.0        |      | Solar I                     | SOLAR | 100.0        |      |
|   |       |              |      | Mini Hidro IV               | HID   | 50.0         |      |
|   |       |              |      | Biomasa II                  | BIO   | 50.0         |      |
| <b>SUMA RETIROS</b>   |       | <b>300.0</b> |      | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b> |       | <b>200.0</b> |      |
| 2020  |       |              |      | 2021                        |       |              |      |
| NOMBRE  | TIPO  | MW           | ÁREA | NOMBRE                      | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Energía Eólica IV   | EOL   | 300.0        |      | Solar II                    | SOLAR | 150.0        |      |
|   |       |              |      | Mini Hidro V                | HID   | 50.0         |      |
|   |       |              |      | Biomasa III                 | BIO   | 50.0         |      |
| <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>   |       | <b>300.0</b> |      | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b> |       | <b>250.0</b> |      |
| 2022  |       |              |      | 2023                        |       |              |      |
| NOMBRE  | TIPO  | MW           | ÁREA | NOMBRE                      | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Energía Eólica V  | EOL   | 300.0        |      | Solar III                   | SOLAR | 150.0        |      |
|   |       |              |      | Mini Hidro VI               | HID   | 50.0         |      |
|   |       |              |      | Biomasa IV                  | BIO   | 50.0         |      |
| <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>   |       | <b>300.0</b> |      | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b> |       | <b>250.0</b> |      |
| 2024  |       |              |      | 2025                        |       |              |      |
| NOMBRE  | TIPO  | MW           | ÁREA | NOMBRE                      | TIPO  | MW           | ÁREA |
| Energía Eólica VI   | EOL   | 300.0        |      | Solar IV                    | SOLAR | 200.0        |      |
|   |       |              |      | Biomasa V                   | BIO   | 100.0        |      |
| <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>   |       | <b>300.0</b> |      | <b>SUMA ADICIONES NETAS</b> |       | <b>300.0</b> |      |
| 2026  |       |              |      | <b>TOTAL = 5,561.8</b>      |       |              |      |
| NOMBRE  | TIPO  | MW           | ÁREA |                             |       |              |      |
| Biomasa VI  | BIO   | 50.0         |      |                             |       |              |      |
| Mini Hidro VII  | HID   | 50.0         |      |                             |       |              |      |
| Solar V   | SOLAR | 100.0        |      |                             |       |              |      |
| <b>SUMA ADICIONES NETAS</b>   |       | <b>200.0</b> |      |                             |       |              |      |
| BIO: BIOENERGÍA CC: CICLO COMBINADO EOL: EÓLICA GEO: GEOTERMIA HID: HIDROELÉCTRICA<br>TC: TÉRMICA CONVENCIONAL TG: TURBOGAS |       |              |      |                             |       |              |      |

Fuente: CFE.

Por su parte, se estima para el 2026, la incorporación de una capacidad de 2,156 MW en el escenario de planeación (Escenario bajo=1,944 MW y Escenario alto=2,389 MW), proveniente de la participación de la generación distribuida, con base en las proyecciones elaboradas por la SENER. De estos, 21.4% (461 MW) son en plantas eólicas; 6.5% (139 MW) en pequeña, mini y micro hidráulicas; 54.2% (1,170 MW) en solar fotovoltaica; 16% (345 MW) en plantas operadas con bioenergía; 0.7% (16 MW) en solar de concentración, y 1.2% (25 MW) en geotermia (véase Gráfica 25).

**Gráfica 25**  
**Pronóstico de evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables por generación distribuida, 2012-2026 (Escenario de planeación) (MW)**



Fuente: SENER.

### Comercio exterior de electricidad

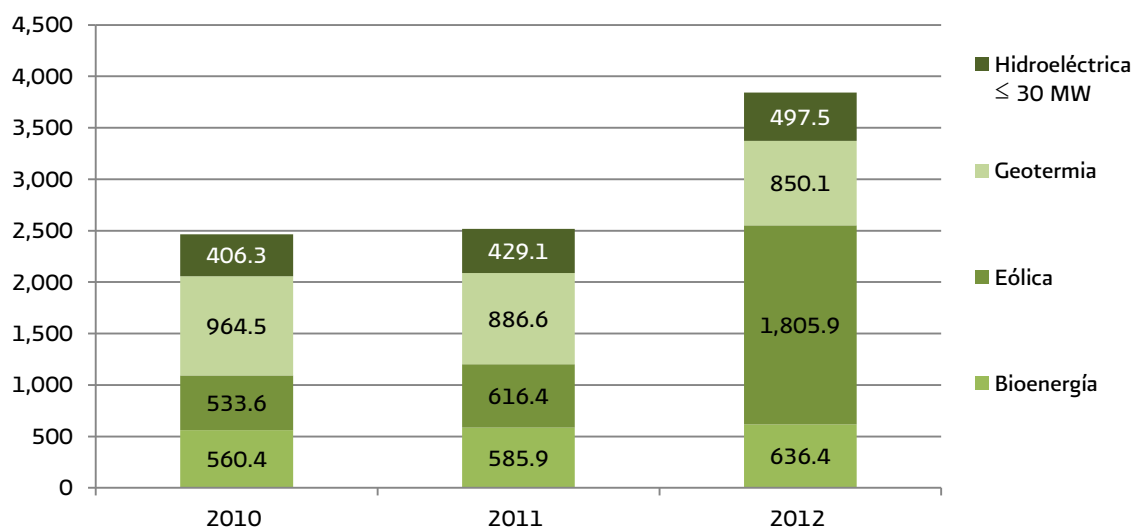
Debido a las metas de energías renovables que se han planteado los gobiernos estatales de California, Arizona y Nevada en los EEUU, se ha generado una demanda energética que resulta estratégica e interesante desde el punto de vista económico y de seguridad energética nacional para los estados fronterizos de México; en consecuencia, las Comisiones Estatales de Energía de Baja California y Sonora han comenzado a trabajar en conjunto con el Gobierno de México y el Gobierno de los EEUU para encontrar el mecanismo más eficiente para el desarrollo y el financiamiento de proyectos de esta índole. Actualmente, las iniciativas más prometedoras consisten en la exportación de la energía proveniente de proyectos eólicos y solares en la frontera de Baja California.

#### 4.1.3. Cumplimiento del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2009-2012

Como se menciona en el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables las metas globales deberán aumentar 7.6% la capacidad de generación y un mínimo de 4.5% de la energía generada mediante fuentes de energía renovable al 2012, esto sin incluir hidroeléctricas mayores que 30 MW. Para cumplir con estas metas globales, así como las metas particulares por fuente de generación, se proyectó un incremento desde 2010, de 1,272 MW en plantas que operan con energía eólica, 76 MW con bioenergía y 91 MW con pequeñas, micro y mini hidroeléctricas;

además de una disminución de 114 MW en plantas operando con geotermia por la salida de operación de unidades de CFE, lo que da como resultado un crecimiento neto de la capacidad instalada con energías renovables aproximada de 1,325 MW (véase Gráfica 26).

**Gráfica 26**  
**Capacidad instalada y estimada de energías renovables, 2010-2012**  
**(MW)**



Fuente: SENER con base en datos de la CFE y la CRE.

Con estos resultados se prevé un cumplimiento de las metas globales de capacidad y generación del 79% y 133%, respectivamente, del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables según se muestra en el Cuadro 26.

**Cuadro 26**  
**Cumplimiento de las metas del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables a 2012**

| Capacidad esperada SEN en 2012 (MW) = 63,1171 |             |                 |                                   |  |
|---|-------------|-----------------|-----------------------------------|--|
| Metas de capacidad por tecnología             |             |                 | Capacidad esperada por tecnología | Cumplimiento de las metas de capacidad |
|   |             | MW              |                                   |  |
| Eólica  | 4.34%       | 2,741.6         | 1,805.9                           | 66%                                    |
| Hidroeléctrica ≤ 30 MW                        | 0.77%       | 486.4           | 497.5                             | Cumple                                 |
| Geotermia                                     | 1.65%       | 1,042.3         | 850.1                             | 82%                                    |
| Bioenergía                                    | 0.85%       | 537.0           | 636.4                             | Cumple                                 |
| <b>Meta global</b>                            | <b>7.6%</b> | <b>4,806.10</b> | <b>3,843.6</b>                    | <b>79%</b>                             |

| Generación esperada SEN en 2012 (GWh/año) = 359,696 |                         |              |                 |                                    |                 |   |
|---|-------------------------|--------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|---|
| Metas de generación por tecnología                  |                         |              |                 | Generación esperada por tecnología |                 | Cumplimiento de las metas de generación |
|   | Porcentaje de capacidad |              | GWh/año         |                                    |                 |   |
| Eólica  | 1.74%                   | 2.91%        | 6,258.7         | 10,467.2                           | 5,062.2         | 81%                                     |
| Hidroeléctrica ≤ 30 MW                              | 0.36%                   | 0.61%        | 1,294.9         | 2,194.1                            | 1,525.2         | Cumple                                  |
| Geotermia   | 2.19%                   | 2.74%        | 7,877.3         | 9,855.7                            | 5,062.2         | 81%                                     |
| Bioenergía  | 0.19%                   | 0.32%        | 683.4           | 1,151.0                            | 3,066.3         | Cumple                                  |
| <b>Meta global</b>                                  | <b>4.48%</b>            | <b>6.58%</b> | <b>16,110.3</b> | <b>23,662.0</b>                    | <b>21,579.4</b> | <b>Cumple</b>                           |

Fuente: SENER con base en datos de la CFE y la CRE.

Con lo cual se prevé el cumplimiento de la meta global de generación de energía eléctrica suministrada por la energía eólica, mini hidroeléctrica, geotermia y bioenergía de 21,579.4 GWh anual.

## 4.2. Prospectiva de producción de calor a partir de fuentes renovables de energía

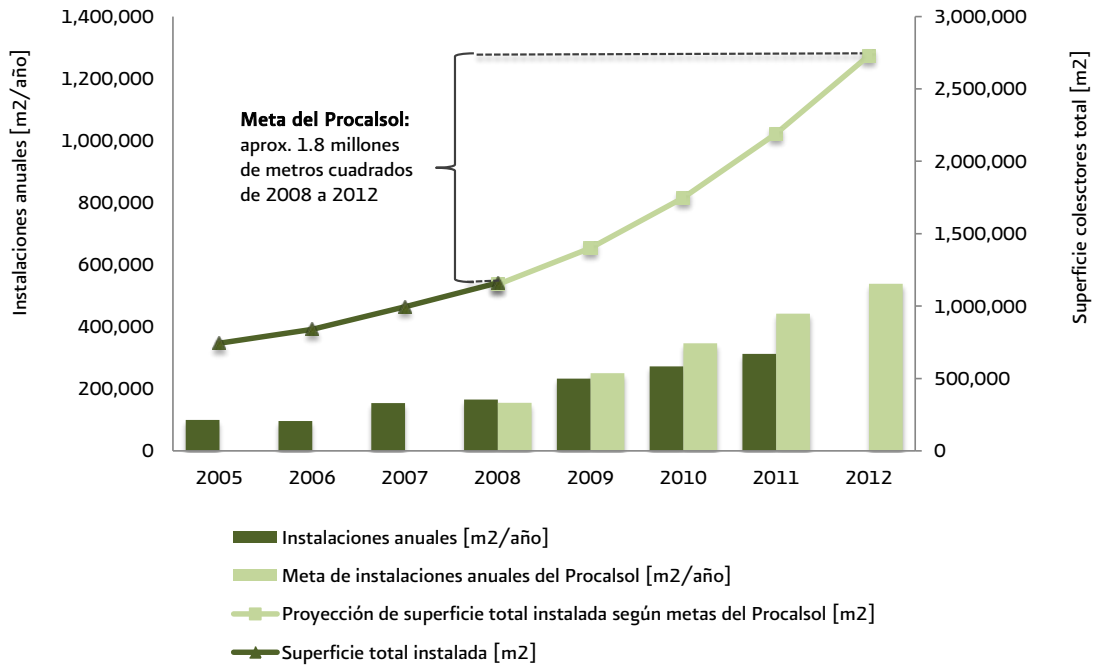
Para la producción de calor, se considera la energía entregada a partir de sistemas que aprovechan la energía solar térmica y la leña como bioenergético utilizado con este fin.

### 4.2.1. Energía solar térmica

En 2007, se inició el impulso de la tecnología solar térmica para su uso en sistemas de calentamiento de agua, por medio del Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procalsol), con la finalidad de ampliar, aprovechar y diversificar las fuentes de energía con que cuenta el país<sup>110</sup>. La meta establecida en el programa consiste en la instalación de 1.8 millones de metros cuadrados de calentadores solares de agua (CSA) en México durante el período 2008-2012, de los cuales ya se habían instalado 1.19 millones al cierre de 2011, se estima que aproximadamente 81% fueron instalados en construcciones nuevas y 19% en construcciones ya existentes (véase Gráfica 27).

<sup>110</sup> Para mayor detalle véase [www.procalsol.gob.mx](http://www.procalsol.gob.mx).

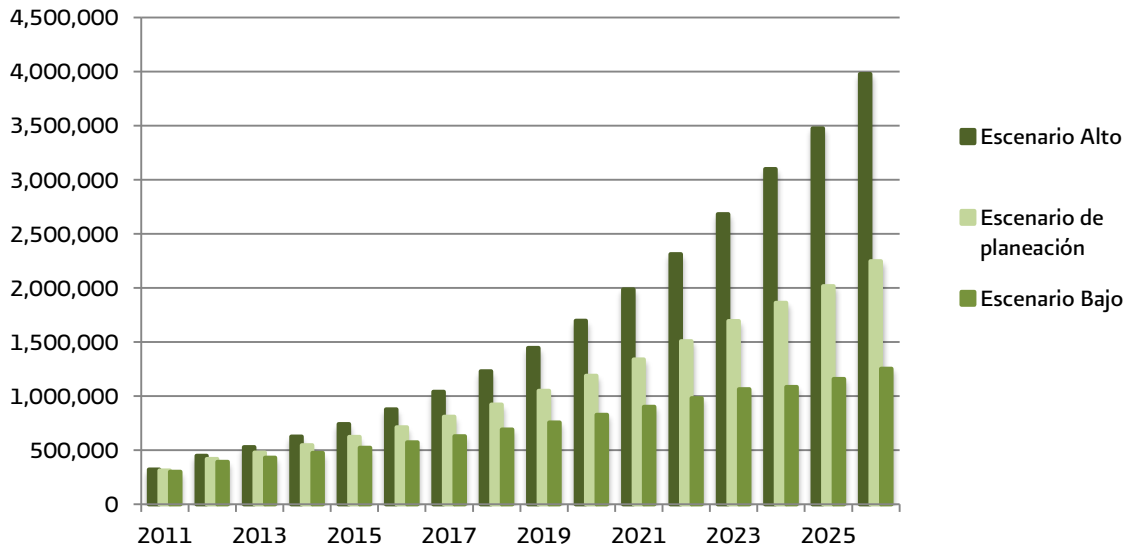
**Gráfica 27**  
**Instalación de sistemas de calentamiento solar de agua de acuerdo con las metas del Procalsol (m<sup>2</sup>)**



Fuente: CONUEE.

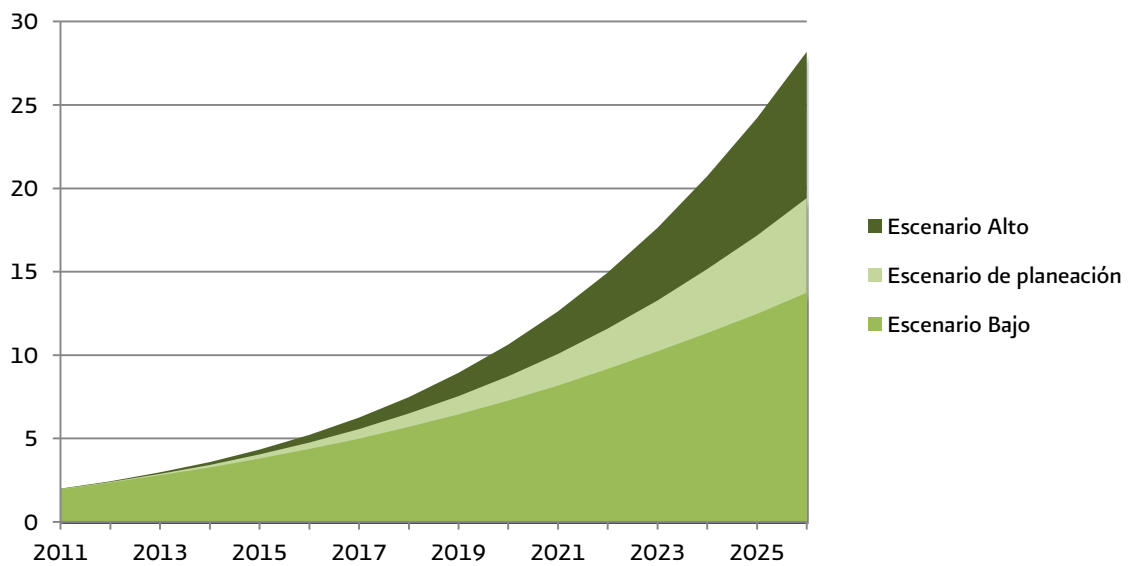
Con el desarrollo del Procalsol, la evolución propia del mercado, los nuevos esquemas de financiamiento, el efecto de las garantías de calidad de los equipos y servicios asociados por medio de la aplicación de normas y los diferentes escenarios de planeación enlistados justo antes de la sección 7.2, se estima la instalación adicional de 12.3, 17.9 y 26.7 millones de metros cuadrados en los escenarios bajo, de planeación y alto, respectivamente, de superficie de calentamiento solar de agua, durante el período 2011 y 2026, con 75% de esa capacidad en el sector residencial y 25% en los sectores comercial y residencial aproximadamente (véanse Gráfica 28 y Gráfica 29).

**Gráfica 28**  
**Instalación anual de capacidad de calentamiento solar de agua 2012-2026 en México**  
**(m<sup>2</sup>/año)**



Fuente: SENER.

**Gráfica 29**  
**Evolución de la capacidad acumulada de calentamiento solar de agua 2012-2026 en México**  
**(Millones de m<sup>2</sup>)**



Fuente: SENER.



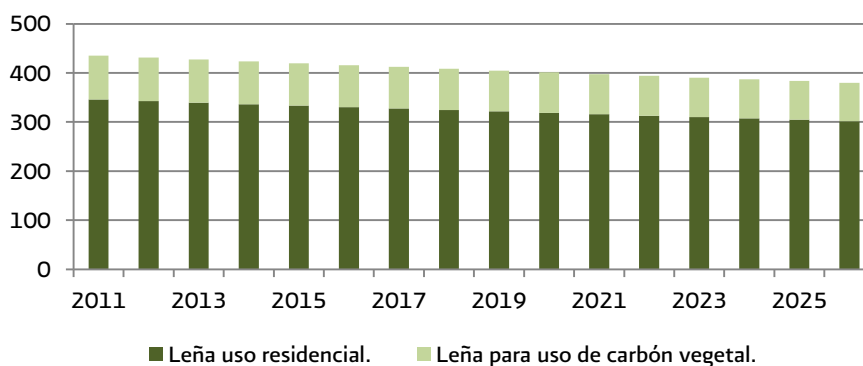
De acuerdo a estos escenarios, el país podría disminuir la dependencia de consumo de hidrocarburos para el calentamiento de agua en el país en los próximos años, aprovechando el recurso solar en el territorio nacional y hacer un uso más eficiente de la energía al reducir el consumo de energía en los sistemas de distribución de energía para estos sectores.

#### 4.2.2. Bioenergéticos para aplicaciones térmicas

##### Leña

El Gobierno Federal, organizaciones sociales y agencias de desarrollo han llevado a cabo acciones que han tenido como consecuencia una disminución en el consumo de leña de 0.9% anual. Ejemplo de ellas son la incorporación de estufas eficientes para procurar la salud, principalmente en las poblaciones localizadas en zonas marginadas, disminuyendo enfermedades como neumonía, bronquitis, tuberculosis y cáncer pulmonar; los programas contra la deforestación por parte de la CONAFOR; la introducción de otros energéticos como la electricidad y el gas; entre otras. Esto significa que para 2026 se consumirían 301.8 PJ en el uso residencial y 78.2 PJ para la producción de carbón vegetal, tal y como se muestra en la Gráfica 30.

**Gráfica 30**  
Producción estimada de leña para uso residencial y producción de carbón vegetal (PJ)



Fuente: SENER con información del SIE.

#### 4.3. Prospectiva de producción de biocombustibles

En los últimos 10 años los biocombustibles han adquirido notable interés a nivel mundial lo que ha representado una rápida expansión de su mercado. Entre las principales y quizás más importante motivación de los gobiernos a retomar el impulso al desarrollo de los biocombustibles se encuentra una mayor seguridad energética con una disminución de las importaciones de combustibles de origen fósiles y como consecuencia el ahorro de divisas; efecto causado por el aumento del precio del petróleo experimentado en la última década, previo a la crisis financiera y económica. Otra motivación es para el desarrollo del campo, la cual se desprende a partir de las primeras experiencias de introducción de los biocombustibles en Brasil, en la Unión Europea (UE) y en los Estados Unidos (EE.UU.). Sin embargo, lo que hoy marca la diferencia con respecto a los impulsos anteriores, es la

promoción de los biocombustibles como una alternativa para la mitigación de gases efecto invernadero (GEI) frente al uso de los combustibles fósiles, permitiendo a los países cumplir con los Compromisos de reducción de GEI adquiridos bajo el Protocolo de Kioto.

El mercado de los biocombustibles depende de la magnitud de la demanda de los combustibles fósiles que serían requeridos en el transporte (gasolinas, turbosina, GLP y diesel) y la disponibilidad tecnológica de los motores para admitir las mezclas con algún tipo de biocombustible.

En México se está buscando la manera de introducir los biocombustibles en la matriz energética, de una forma sustentable con productores nacionales y así poder impulsar el desarrollo rural. La SENER, por medio de diferentes programas de introducción de los diferentes tipos de biocombustibles, fomentará el desarrollo del mercado para 2030.

La industria de la aviación busca esquemas que permitan contribuir a la lucha contra el cambio climático y es por esto que Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) se ha fijado como objetivo lograr en México la viabilidad comercial de los biocombustibles sustentables de aviación y así poder cumplir con la norma internacional ASTM D7566-11, publicada el 1° de julio de 2011.

### Potencial de consumo de bioenergéticos para la exportación

En el Cuadro 27 se muestran las importaciones que requieren otros países en el consumo estimado tanto de etanol como de biodiésel para 2020, lo cual constituye una demanda potencial que México pudiera aprovechar para su exportación.

**Cuadro 27**  
**Importaciones estimadas para el 2020**  
**(Miles de barriles anuales)**

| País / Región             | Etanol            | Biodiésel         |
|---------------------------|-------------------|-------------------|
| Estados Unidos de América | 241,889.30        | 95,289.30         |
| Unión Europea             | 43,980.35         | 95,289.30         |
| China                     | 43,980.35         | 58,523.75         |
| India                     | 3,664.30          | 11,726.46         |
| Japón                     | 8,368.54          | 2,198.93          |
| <b>Total</b>              | <b>350,373.93</b> | <b>260,214.30</b> |

Fuente: CEPAL<sup>111</sup>, UE<sup>112</sup>.

#### 4.3.1. Biodiésel

Estudios del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) indican un potencial de introducción del biodiésel en el diésel UBA de 0.5% a 1.0%, como se muestra en el Cuadro 28.

<sup>111</sup> CEPAL, Market Evaluation: Fuel Ethanol, Unicamp 2007.

<sup>112</sup> Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond, EUR22066 EC.

**Cuadro 28**  
**Escenarios de la introducción de biodiésel en diesel UBA**  
**(Miles de barriles anuales)**

| Áreas de cobertura  | Volumen        |
|---------------------|----------------|
| Territorio Nacional | 69.18 a 150.94 |

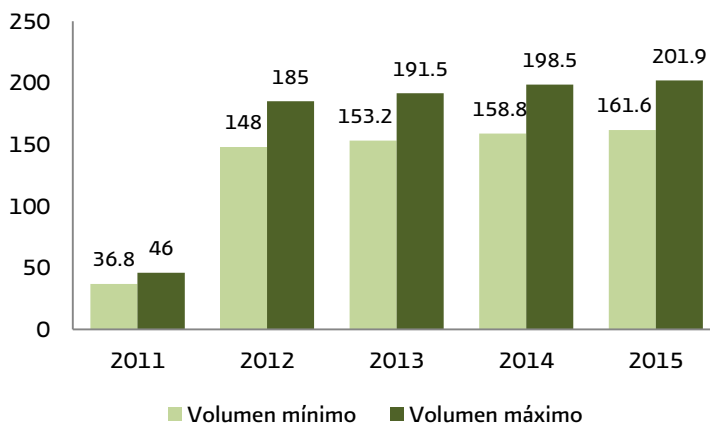
Las pruebas realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo indican que es necesario utilizar biodiésel en proporciones de 0.5 a 1.0% para alcanzar una lubricidad menor que 520 micrones.

Fuente: SENER.

#### 4.3.2. Etanol anhidro

Conforme al Programa de Introducción de Bioenergéticos, Petróleos Mexicanos constituye un mercado potencial para la utilización de etanol anhidro como oxigenante sustituto del MTBE en las gasolinas de las zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y el Valle de México, en un intervalo de 658 a 823 millones de litros en total por un periodo de 5 años, distribuido de la siguiente manera:

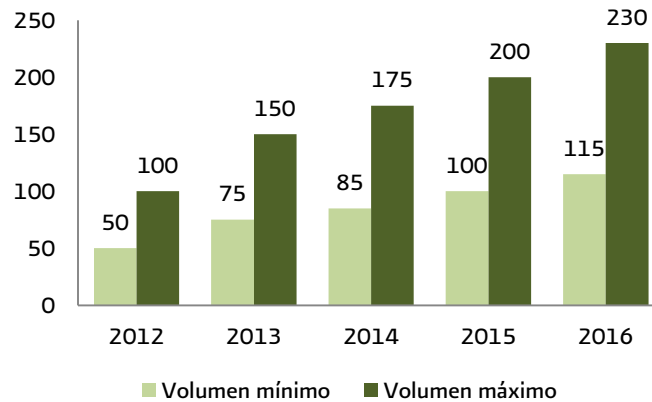
**Gráfica 31**  
**Volumen a entregar de etanol anhidro**  
**(Millones de barriles anuales)**



Fuente: Programa de Introducción de Bioenergéticos, SENER.

Por su parte, conforme al Programa de Introducción de Etanol Anhidro existe un potencial en el mercado nacional para que Petróleos Mexicanos introduzca en la Matriz energética, entendiéndose por ésta la energía disponible para ser procesada, distribuida, comercializada y consumida en los procesos de producción de México y con el exterior, de hasta 230 millones de litros por año en el 2016.

**Gráfica 32**  
**Introducción de Etanol Anhidro**



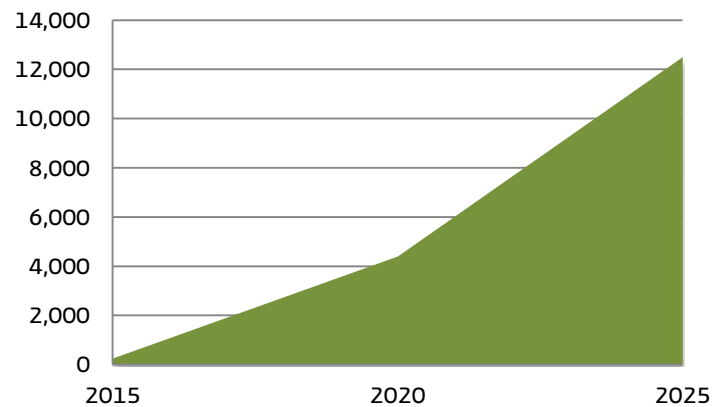
Fuente: Programa de Introducción de Etanol Anhidro, SENER.

Conforme a lo anterior, podemos afirmar que Petróleos Mexicanos representa el principal mercado potencial para el desarrollo de una industria nacional de etanol anhidro en el país.

#### 4.3.3. Bioturbosina

La industria de la aviación mundial está demandando combustibles que contribuyan a la lucha contra los efectos adversos del cambio climático. Por lo anterior, es necesario que México participe en la consecución de la viabilidad comercial de los biocombustibles sustentables de aviación, para lo cual Aeropuertos y Servicios Auxiliares, órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ha planteado el siguiente escenario de penetración de bioturbosina:

**Gráfica 33**  
**Escenarios de demanda de bioturbosina**  
**(Miles de barriles anuales)**



Fuente: SENER a partir de datos de Aeropuerto y Servicios Auxiliares (ASA).

#### 4.4. Evolución del Inventario Nacional de Energías Renovables

El Inventario Nacional de las Energías Renovables deriva del mandato establecido en el artículo 6º, fracción VI, de la LAERFTE en donde confiere a la Secretaría de Energía:

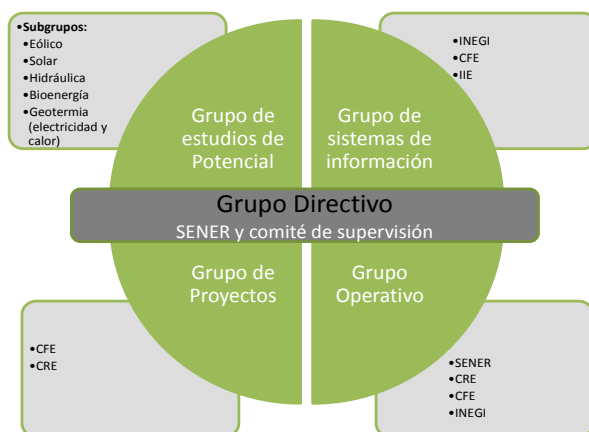
*" Establecer y actualizar el Inventario Nacional de las Energías Renovables, con programas a corto plazo y planes y perspectivas a mediano y largo plazo comprendidas en el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables y en la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía."*

Para cumplir con el mandato de Ley, la SENER, con apoyo del Banco Mundial, consultó a los sectores público, privado, académico y de investigación con el objeto de determinar la organización del grupo de trabajo que se hará cargo de desarrollar en México el Inventario Nacional de las Energías Renovables (INER) y de señalar lo que serían los primeros pasos para encaminar el proyecto de diseño e implantación del mismo.

Como resultado de esta consulta, se integrarán grupos de trabajo del INER bajo el liderazgo de un Grupo Directivo a cargo de la SENER y un comité de supervisión. La operación del INER estará compuesta por 4 grupos (véase Gráfica 34):

- **Grupo de estudios de potencial.-** Estará a cargo de los estudios de potenciales de las energías renovables (eólico, solar, hidráulico, bioenergía, geotermia - electricidad y calor) y sus tecnologías asociadas.
- **Grupo de sistemas de información.-** Estará a cargo del diseño de los sistemas de información y la generación y suministro de información geoestadística.
- **Grupo de proyectos.-** Desarrollar una base de datos correspondiente a proyectos en estudio, desarrollo y operación.
- **Grupo operativo.-** Grupo especializado en sistemas de información con conocimientos amplios de las ER para hacerse cargo de la operación, actualización y mantenimiento del INER.

**Gráfica 34**  
**Estructura del INER**



Fuente: SENER.



# Anexo 1. Características y costos de las tecnologías de energía renovable

Los costos que a continuación se presentan son indicativos de los costos económicos nivelados, y excluyen subsidios o incentivos. Los costos característicos de la energía se calculan bajo las mejores condiciones, incluyendo el diseño del sistema, la ubicación y disponibilidad de recursos. Las condiciones óptimas pueden reducir los costos de producción, y condiciones menos favorables pueden generar costos considerablemente superiores. Los costos de los sistemas híbridos fuera de la red eléctrica a partir de energías renovables dependerán en gran medida del tamaño del sistema, su ubicación y los elementos asociados, tales como baterías de almacenamiento y equipos electrógenos a base de diésel. Los costos de la energía solar fotovoltaica varían según la latitud y la cantidad de insolación solar. Los costos de la generación de energía a partir de biomasa dependen del tipo de recursos que se empleen.

## Características y costos de las tecnologías de energía renovable

| Tecnología  | Características típicas   | Costos típicos (US¢/kWh)                                    |  |
|---|---|---|--|
| Energía rural   |   |   |  |
| Biodigestor biogás  | Tamaño biodigestor: 6-8 m <sup>3</sup>  | n/d   |  |
| Gasificador de biomasa  | Tamaño: 20-5,000 kW   | 8-12  |  |
| Sistema solar casero  | Tamaño sistema: 20-100 W  | 40-60   |  |
| Turbina eólica (pequeña escala)                                     | Tamaño turbina: 0.1-3 kW  | 15-35   |  |
| Mini red rural  | Tamaño sistema: 10-1,000 kW   | 25-100  |  |
| Tecnología  | Características típicas   | Costo de capital (USD/kW)                                   | Costos característicos de energía (US¢/kWh)          |
| Generación Eléctrica  |   |   |  |
| Biomasa<br>Planta de caldera/turbina<br>lecho fluidizado circulante | Tamaño de la planta: 12-14 MWt<br>Factor de planta: ~ 69%<br>Eficiencia: 25%  | 430-1,170   | 7.9-17.6   |
| Geotermia   | Tamaño de la planta: 1-100 MW<br>Tipos: ciclo binario, simple y con<br>doble flash, vapor natural<br>Factor de planta: 60-90% | Condensación:<br>2,100-4,200<br><br>binario:<br>2,470-6,100 | Condensación:<br>5.7-8.4<br><br>binario:<br>6.2-10.7 |

**Características y costos de las tecnologías de energía renovable (continuación)**

|   |  |   |                |
|---|--|---|----------------|
| Hidroeléctrica (en red)                     | Tamaño de la planta: 1 MW-18,000+ MW<br>Tipo: presa de almacenamiento, corriente de río<br>Factor de planta: 30-60%  | Proyectos > 300 MW:<br><2,000<br>Proyectos < 300 MW:<br>2,000-4,000   | 5-10           |
| Pequeña hidroeléctrica (fuera de red/rural) | Tamaño de la planta: 0.1-1,000 kW<br>Tipo: corriente de río, hidrocínética, almacenamiento diurno  | 1,175-3,500   | 5-40           |
| Energía oceánica (mareomotriz)              | Tamaño de la planta: <1 a >250 MW<br>Factor de planta: 23-29%  | 5,290-5,870   | 21-28          |
| Solar fotovoltaica (techos)                 | Capacidad pico: 3-5 kW (residencial);<br>100 kW (comercial)<br>500 kW (industrial)<br>Eficiencia: 12-20%   | 2,480-3,270   | 22-44 (Europa) |
| Solar fotovoltaica (centrales)              | Capacidad pico: 2.5-100 MW<br>Eficiencia: 15-27%<br>100 kW (comercial)<br>500 kW (industrial)<br>Eficiencia: 12-20%  | 1,830-2,350   | 20-37 (Europa) |
| Concentración solar termoeléctrica          | Tipos: canal parabólico, torre central, disco<br>Tamaño: 50-500 MW (canal parabólico), 50-300 MW (torre central);<br>Factor de planta: 20-25% (canal); 40-50% (canal con 6 horas de almacenamiento); 40-80% (torre con 6-15 horas de almacenamiento) | Canal parabólico sin almacenamiento: 4,500;<br>Canal parabólico con 6 horas de almacenamiento: 7,100-9,000;<br>Torre central con 6-18 horas de almacenamiento: 6,300-10,500 | 18.8-29        |
| Eólica en tierra                            | Tamaño de turbinas: 1.5-3.5 MW<br>Diámetro de rotor: 60-110+ m<br>Factor de planta 20-40%  | 1,410-2,475   | 5.2-16.5       |
| Eólica en costa                             | Tamaño de turbinas: 1.5-7.5 MW<br>Diámetro de rotor: 70-125 m<br>Factor de planta 35-45%   | 3,760-5,870   | 11.4-16.5      |
| Eólica (pequeña escala)                     | Tamaño de turbinas: hasta 100 kW   | 3,000-6,000 (EEUU);<br>1,580 (China)  | 15-20 (EEUU)   |



## Características y costos de las tecnologías de energía renovable (continuación)

| Tecnología                                     | Características típicas  | Costo de capital (USD/kW)   | Costos característicos de energía (US/GJ)  |
|--|--|---|--|
| Calentamiento de agua/Calefacción/Enfriamiento |  |   |  |
| Biomasa  | Biomasa, turbina de vapor (producción de calor y electricidad) | Tamaño de la planta: 12-14 MWt<br>Factor de planta: ~ 69%<br>Eficiencia: 25%  | 430-1,170    13-80   |
|  | Biogás (producción de calor y electricidad)                    | Tamaño de la planta: 0.5-5 MWt<br>Factor de planta: ~ 80%<br>Eficiencia: 25%  | 20-1,170    11.8-35.2  |
|  | Calentamiento doméstico con pellets                            | Tamaño de la planta: 5-100 kWt<br>Factor de planta: ~ 13-29%<br>Eficiencia: 86-95%  | 360-1,410    18.8-100  |
|  | Calefacción (edificios)  | Tamaño de la planta: 0.1-1 MWt<br>Factor de planta: 25-30%  | 1,865-4,595    28-76   |
| Geotermia (uso directo)                        | Calefacción (distribuida)                                      | Tamaño de la planta: 3.8-35 MWt<br>Factor de planta: 25-30%   | 665-1,830    16-36   |
|  | Bombas de calor  | Tamaño de la planta: 10-350 kWt<br>Factor de planta: 25-30%   | 1,095-4,370    20-65   |
| Solar térmica                                  | Sistemas de calentamiento de agua doméstico                    | Tipo de colector: plano, tubo evacuado<br>Tamaño: 2.1-4.2 kWt (3-6 m <sup>2</sup> ); 35 kWt (50 m <sup>2</sup> )  | China: 147-634<br>pequeña escala: 4.2-79 (China)<br>1,670-1,730<br>gran escala: 1,020-1,060  |
|  | Sistemas de calefacción y calentamiento de agua                | Tipo de colector: plano, tubo evacuado<br>Tamaño: 4.2-11.2 kWt (6-16 m <sup>2</sup> ; pequeña escala); 35 kWt (50 m <sup>2</sup> ; mediana escala); 70-3,500 kWt (100-5,000 m <sup>2</sup> ; calentamiento centralizado); >3,500 kWt (>5,000 m <sup>2</sup> ; calentamiento centralizado con almacenamiento estacional) | 620-2,115<br>En Europa:<br>pequeña escala: 1,390-1,490<br>mediana escala: 870-1,020<br>14-200<br>calentamiento centralizado: 460-780;<br>con almacenamiento: 1,060 |

### Características y costos de las tecnologías de energía renovable (continuación)

| Características típicas |   | Costos estimados de producción (US¢/litro) |  |
|-------------------------|---|--|--|
| <b>Biocombustibles</b>  |   |  |  |
| Etanol                  | Materia prima: azúcar de caña, remolacha, maíz, mandioca, sorgo, trigo (y la celulosa en el futuro)                       | Rango:<br>20-102                           | Caña de azúcar brasileña:<br>68 (2011)<br>etanol de maíz estadounidense<br>(base seca): 40 (2011)                |
| Biodiésel               | Materia prima: soya, colza, mostaza, palma, <i>jatropha</i> , aceites vegetales usados, grasas animales aceite de palma): | Rango:<br>16.5-177                         | Argentina (soya): 42-91;<br>EEUU (soya): 55-82;<br>Indonesia/Malasia/Tailandia/Perú<br>(aceite de palma): 24-100 |

Fuente: *Renewables 2012 Global Status Report*, REN21, 2012.

## Anexo 2. Normas y especificaciones técnicas

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de carácter obligatorio, y las Normas Mexicanas (NMX), de carácter voluntario, son elementos fundamentales que permiten garantizar que la oferta de productos de energías renovables en el mercado mexicano, cumplan con especificaciones y requerimientos que garanticen la seguridad, eficiencia y adecuada funcionalidad y manejo en el mercado nacional. En la actualidad, se cuenta ya con algunas normas en materia de energías renovables, las cuales se detallan a continuación:

La NMX-ES-001-NORMEX-2005. Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua, métodos de prueba y etiquetado.

La NMX-ES-003-NORMEX-2007. Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua.

La Norma Técnica de Competencia Laboral para la instalación de sistemas de calentamiento solar de agua, desarrollada por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales.

La Norma Ambiental para el Distrito Federal, NADF-008-AMDT-2005, que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavandería y tintorería.

La NOM-150-SEMARNAT-2006, que incluye las especificaciones técnicas de protección ambiental que deberán observarse en las actividades de construcción y evaluación preliminar de pozos geotérmicos para exploración en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas y terrenos forestales.

Cabe mencionar, que actualmente están en desarrollo diversas normas en materia de energías renovables, en especial en energía fotovoltaica, que permitirán un desarrollo del mercado nacional con las características antes mencionadas.

### **Normas Mexicanas (Voluntarias)**

#### **a) Normas Mexicanas para aplicaciones eléctricas**

En años recientes, diversas entidades de normalización y certificación, entre ellas ANCE, han venido desarrollando Normas Mexicanas para sistemas que aprovechen la energía solar fotovoltaica. En 2011 fueron emitidas 18 Normas Mexicanas (NMX) relacionadas con la seguridad, calidad, desempeño y eficiencia de dispositivos y módulos fotovoltaicos.

Se prevé que en breve se apruebe una Norma Mexicana relacionada con la evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos.

Asimismo, se encuentran en desarrollo ocho Normas Mexicanas relacionadas con los requisitos y seguridad de componentes de los sistemas fotovoltaicos, sistemas híbridos para electrificación rural, sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica, y sistemas fotovoltaicos de concentración.

b) Normas Mexicanas para aplicaciones térmicas

**Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda**

En el marco del Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (PROCALSOL), el pasado 25 de octubre de 2011, los integrantes del Comité Técnico del PROCALSOL suscribieron el “Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda”. El Dictamen establece las especificaciones que deben cumplir los sistemas de calentamiento de agua cuya, fuente de energía sea la radiación solar y como respaldo utilice un calentador de agua, cuya fuente de energía sea el gas LP o el gas natural, energía eléctrica o cualquier otra. Además establece los métodos de prueba para su verificación y los requisitos de marcado y etiquetado.

**Actualización de Normas Mexicanas (NMX) de calentamiento solar de agua**

Actualmente, está en proceso la actualización de la norma NMX-ES-004-NORMEX-2010, Evaluación Térmica de Sistemas Solares para Calentamiento de Agua; agregando pruebas del “Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda”, con el fin de revisar y asegurar más aspectos respecto de la calidad, y en especial respecto a la durabilidad, de los Calentadores Solares de Agua (CSA).

Las ocho pruebas que se pretenden mejorar son: prueba de exposición, prueba de choque térmico externo, prueba de penetración de lluvias, resistencia a alta temperatura, resistencia a presión positiva, protección contra sobre calentamiento, prueba de resistencia a heladas y la prueba de presión negativa.

c) Normas para requerimientos técnicos para la interconexión a la red

Los requerimientos técnicos para la interconexión entran en el terreno de las normas y reglamentaciones que deben cumplirse para participar en el proceso de alimentación a la red, y son los siguientes:

**Especificaciones técnicas de interconexión a la red eléctrica de CFE**

Las *reglas generales de interconexión* (código de red) son los requisitos que se deben cumplir, tanto técnicos como de operación para interconexión al SEN. También especifican la información que se deberá proveer al operador del sistema para la operación, planificación, estadística, predicción de la demanda, mantenimiento, disponibilidad de la generación, etc.

Los *requerimientos para interconexión de aerogeneradores* (código de red): establecen los términos y condiciones para la interconexión de aerogeneradores al SEN (vigencia a partir del 1o de julio del 2008), así como los requerimientos para las instalaciones conectadas a 115 kV y mayores.

La *especificación de interconexión en baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW* (GO 100-04). Esta especificación tiene como objetivo definir los requerimientos para el

diseño, instalación, inspección, autorización y utilización de sistemas fotovoltaicos interconectados con la red eléctrica; así como garantizar la calidad de la energía en la red y la integridad física y operacional, tanto del personal de la CFE y de los usuarios, como de los propios sistemas fotovoltaicos. Su campo de aplicación incluye la interconexión de la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad de hasta 30 kWp, los cuales pueden estar instalados en viviendas individuales, inmuebles comerciales, escuelas y edificios públicos, incluyendo únicamente aquellos que utilizan inversores estáticos de estado sólido, para conversión de corriente directa o corriente alterna.



## Anexo 3. Proyecciones de los requerimientos de capacidad adicional (sección 4.1), según los escenarios alto y bajo

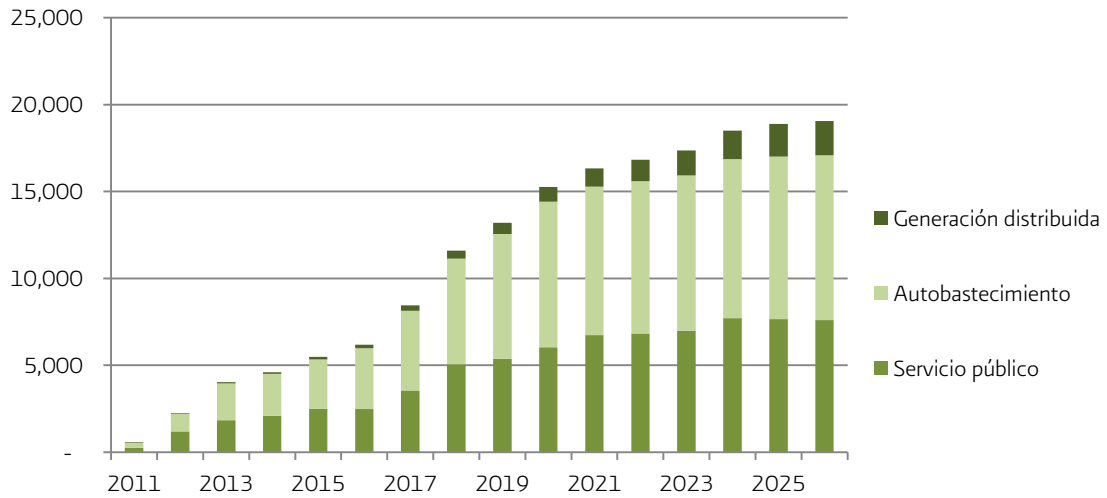
Es importante mencionar que este escenario se elaboró incrementando la participación de centrales eólicas; sin embargo, se espera que el resto de la generación con otras fuentes renovables comparta el porcentaje que se le asignó. En particular, la geotermia ha presentado bajos costos relativos. Si se logra contar con recursos geotérmicos equivalentes con la calidad de vapor de yacimientos encontrados hasta ahora, la generación geotérmica podría llegar a representar 2.3% de la capacidad total al 2026.

Por otro lado, también existe un potencial de penetración de la generación distribuida para el servicio público, en especial aquella con recursos renovables como solar y biogás. En cuanto al potencial de energía solar, algunos Estados como Sonora, Chihuahua y Baja California poseen extensiones territoriales y potencial suficiente para la instalación de capacidad de generación de electricidad a través de campos de concentración solar. También, la radiación solar a lo largo de la costa del pacífico y los Estados de la región noreste permitiría incrementar la instalación de paneles solares en territorio nacional.

Por ello, para poder tomar decisiones tanto en el mediano como en el largo plazo, es necesario realizar más estudios sobre la viabilidad técnica y financiera de estas fuentes.

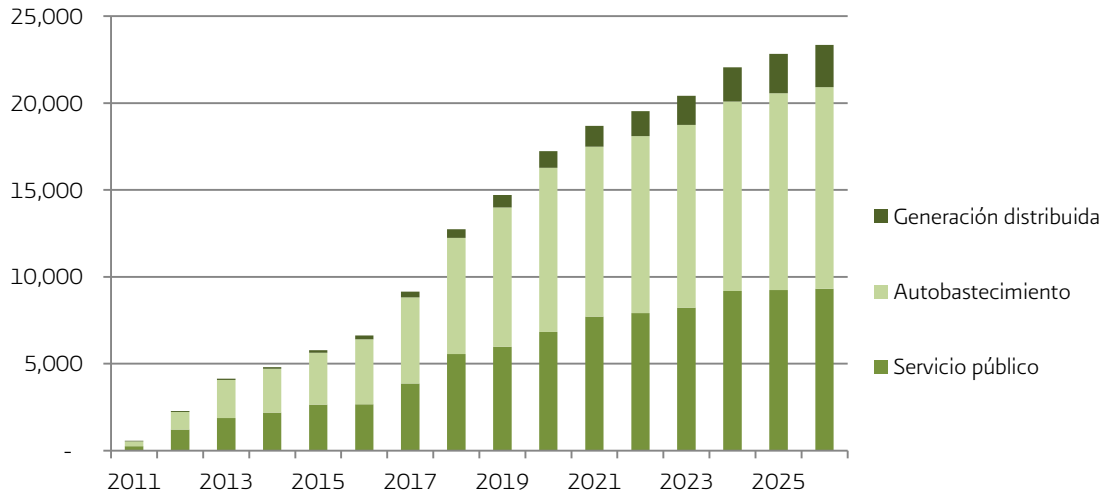
**Gráfica 35**  
**Evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables en el Sistema Eléctrico Nacional de acuerdo con la forma de integración con la red, 2012-2026 (MW)**

**Escenario bajo**



Fuente: SENER con base en información de CFE y la CRE.

**Escenario alto**

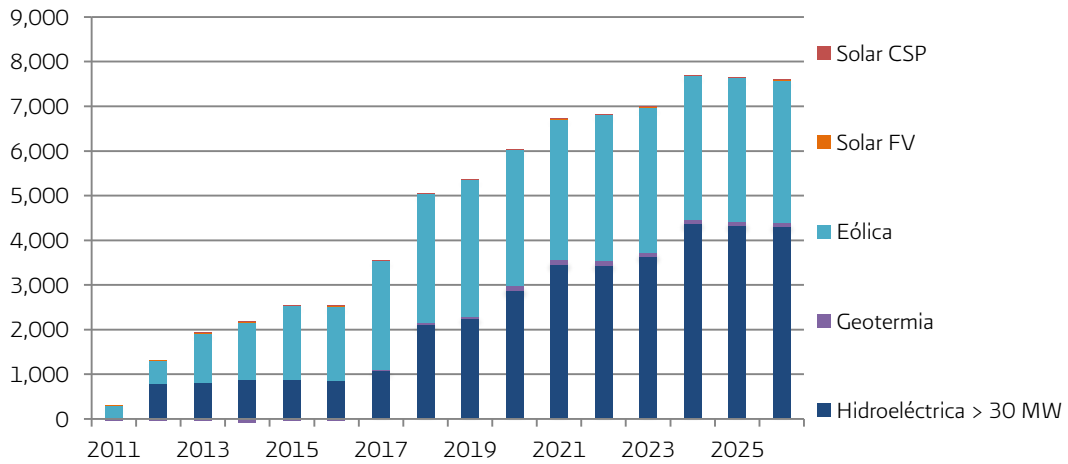


Fuente: SENER con base en información de CFE y la CRE.

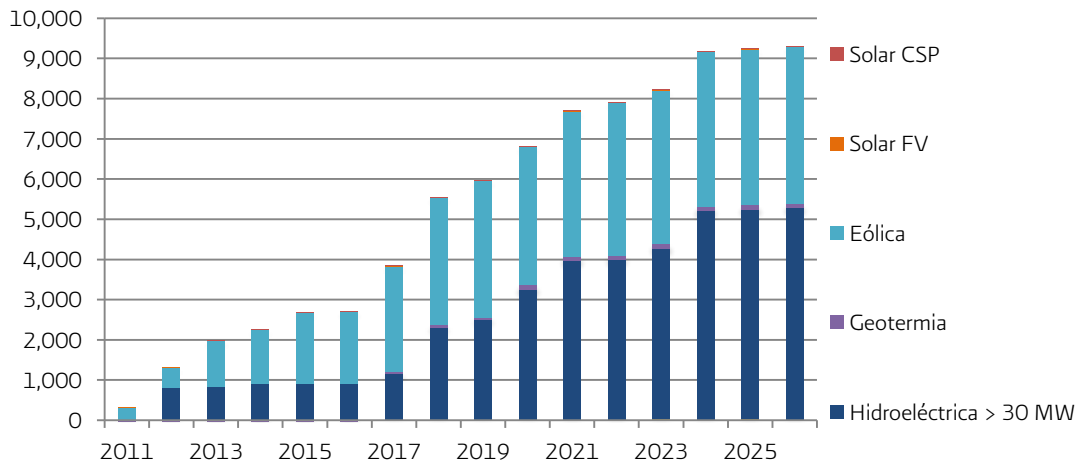


**Gráfica 36**  
**Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables y nuevas grandes hidroeléctricas para servicio público, 2012-2026 (MW)**

**Escenario bajo**

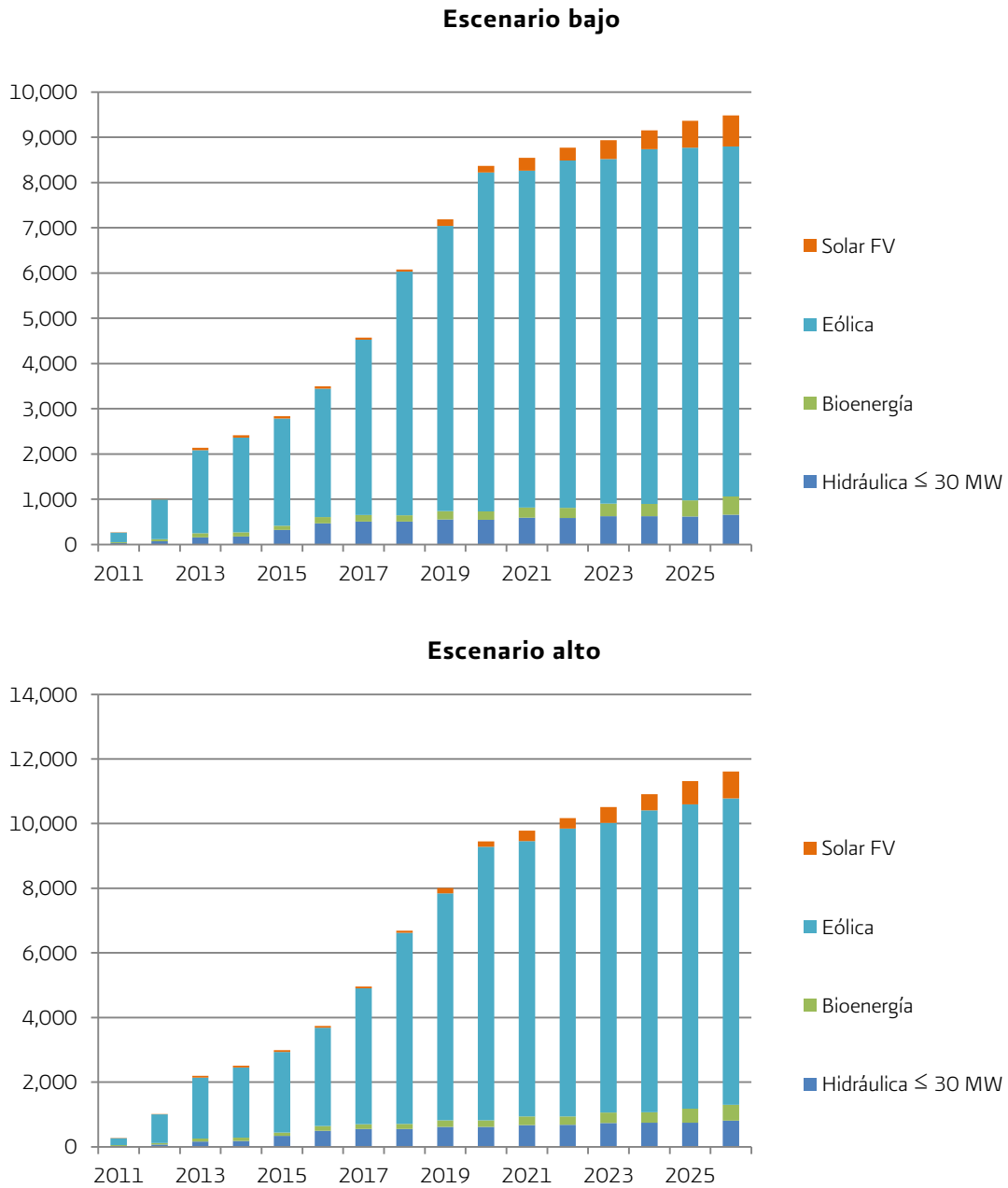


**Escenario alto**



Fuente: CFE.

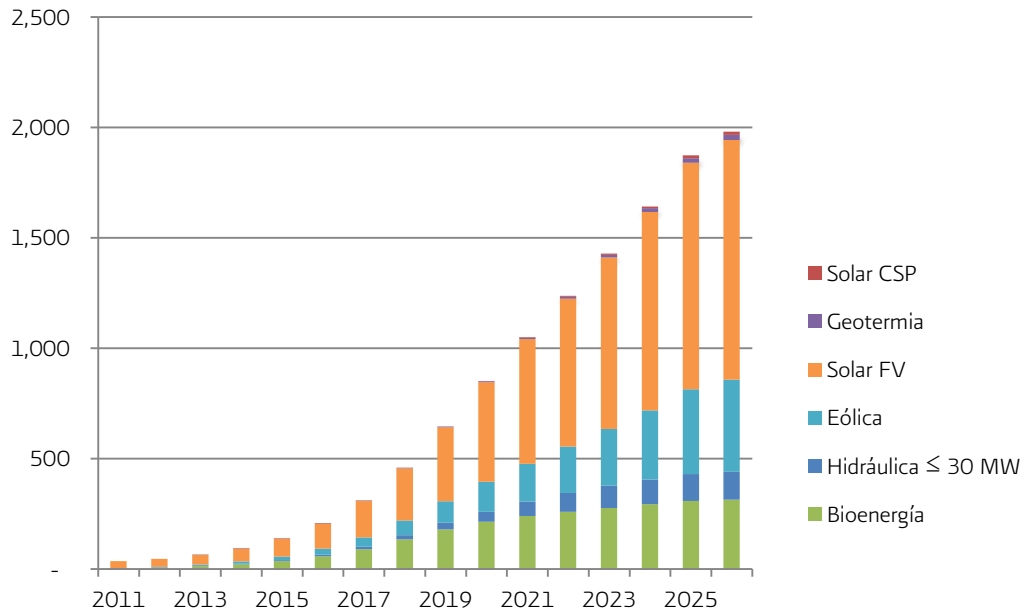
**Gráfica 37**  
**Evolución de la capacidad adicional de generación con energías renovables por autoabastecimiento, 2012-2026 (MW)**



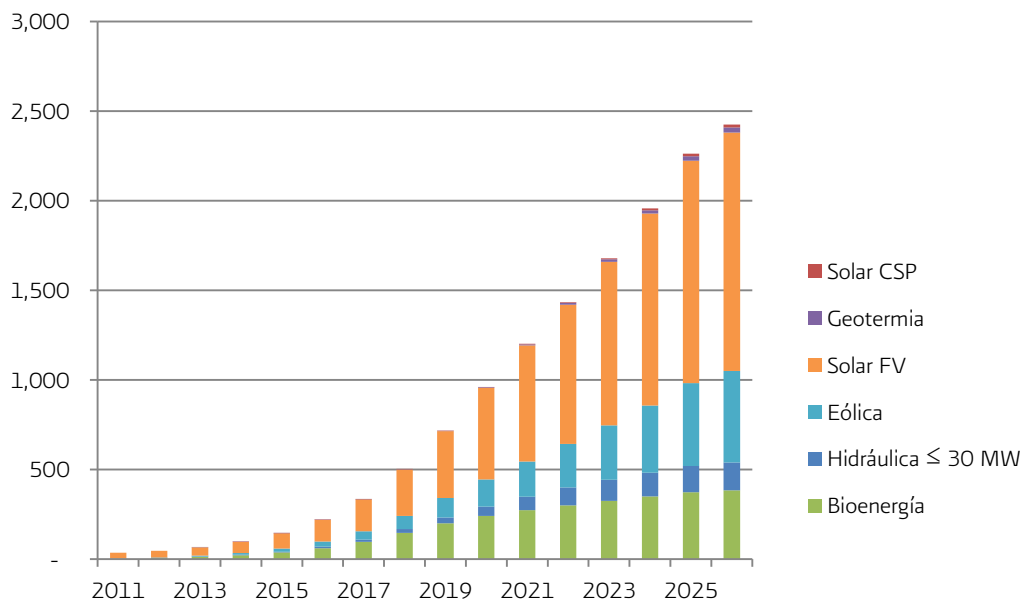
Fuente: CFE.

**Gráfica 38**  
**Pronóstico de evolución de capacidad adicional de generación con energías renovables**  
**por generación distribuida, 2012-2026**  
**(MW)**

**Escenario bajo**

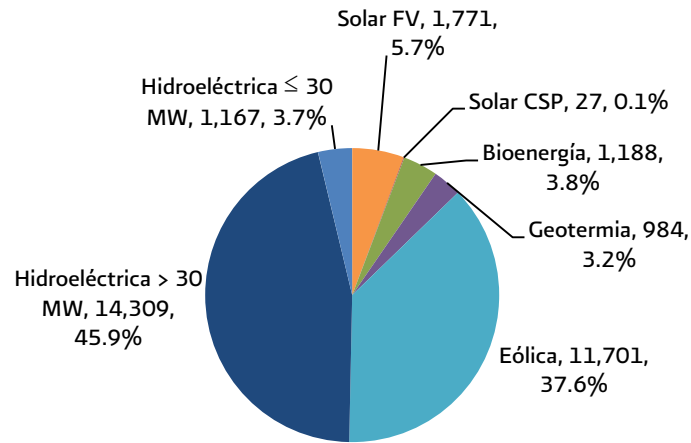


**Escenario alto**

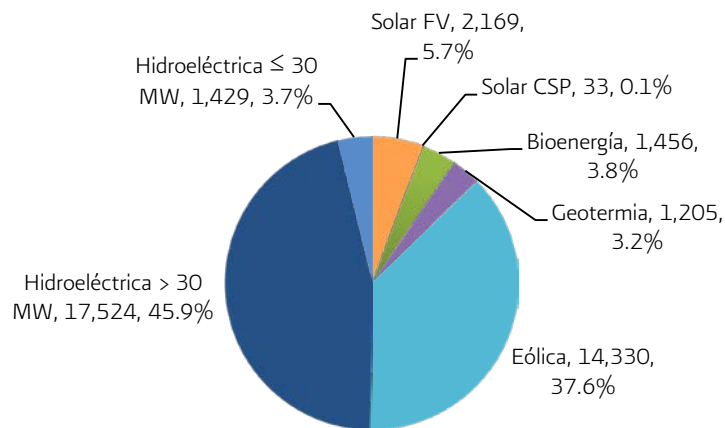


Fuente: SENER.

**Gráfica 39**  
**Capacidad instalada estimada de energías renovables para 2026**  
**(MW)**  
**Escenario bajo**



**Escenario alto**



Fuente: SENER con base en datos de la CFE y la CRE.

## Anexo 4. Glosario

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Aditivo</b>                   | Sustancia que se añade a un producto para modificarle sus propiedades.  |
| <b>Aerogeneradores</b>           | Dispositivos que convierten la energía del viento en energía eléctrica.   |
| <b>Aplicaciones de potencia</b>  | Aplicaciones relativas a altos voltajes o corrientes eléctricas.  |
| <b>Autoabastecimiento</b>        | Categoría de generación de energía eléctrica destinada a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales.  |
| <b>Autoabastecimiento remoto</b> | Es el suministro a cargo de proyectos de autoabastecimiento localizados en un sitio diferente al de la central generadora utilizando la red de transmisión del servicio público.  |
| <b>Balneología</b>               | Se refiere a aplicaciones del calor para recreación.  |
| <b>Barreras anticonvectivas</b>  | Elementos que dificultan el intercambio de calor por convección.  |
| <b>Biocombustibles</b>           | Los combustibles que provienen de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal) como el alcohol etílico o etanol, metanol, biodiésel, diesel fabricado mediante el proceso químico de Fischer-Tropsch y combustibles gaseosos tales como hidrógeno y metano. |
| <b>Biodiésel</b>                 | Combustible que se obtiene por la transesterificación de un ácido graso (aceite).   |
| <b>Bioenergéticos</b>            | Combustible líquido de etanol, biodiésel y biogás, así como sólido de carbón vegetal y leña.  |
| <b>Bioenergía</b>                | La cantidad de trabajo que se obtiene de la energía eléctrica, el diesel o gas que se produzca a partir de biomasa.   |
| <b>Biogás</b>                    | Gas metano que se origina por la acción de bacterias sobre materia orgánica.  |
| <b>Biomasa</b>                   | Cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético.   |

|  |   |
|--|---|
| <b>Calentadores solares de tubos evacuados</b> | Calentador solar de agua que recibe la irradiación solar en tubos donde circula el fluido por calentar y que están cubiertos por tubos traslúcidos que permiten el paso de la energía solar y de cuyo espacio de separación ha sido extraído el aire.                   |
| <b>Canal parabólico</b>                        | Se refiere al sistema de aprovechamiento solar que opera con grandes espejos curvados, que concentran la luz del Sol en una línea focal.  |
| <b>Capacidad</b>                               | 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.  |
| <b>Capacidad adicional no comprometida</b>     | Capacidad adicional necesaria para satisfacer la demanda futura, cuya construcción o licitación aún no se ha iniciado. De acuerdo con la LSPEE y su Reglamento, estas adiciones de capacidad podrán ser cubiertas con proyectos de generación privados o la propia CFE. |
| <b>Celdas de combustible</b>                   | Dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica.  |
| <b>Celdas fotovoltaicas</b>                    | Dispositivos que generan electricidad a partir del efecto fotovoltaico.   |
| <b>Colectores solares planos</b>               | Sistemas que captan la energía solar en aletas o placas conectadas térmicamente a tubos por donde circula el fluido por calentar.   |
| <b>Concentración solar</b>                     | Efecto de proyectar en un mismo punto o línea a la irradiación solar que llega directamente del Sol.  |
| <b>Condensados</b>                             | Se refiere al vapor que se convierte a líquido por vía de una caída de presión o temperatura.   |
| <b>Consumo</b>                                 | Energía entregada a los usuarios con recursos de generación del servicio público, proyectos de autoabastecimiento y cogeneración, y a través de contratos de importación.   |
| <b>Convertidor de corriente (Alternador)</b>   | Dispositivo que permite convertir corriente directa a corriente alterna.  |
| <b>Desalinizadora</b>                          | Planta con capacidad de separar la sal del agua, particularmente del mar.   |
| <b>Desechos</b>                                | Elementos que sobran de un proceso de extracción o transformación.  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Efecto fotovoltaico</b>   | Es un fenómeno físico a través del cual ciertos dispositivos fabricados con semiconductores, uniones del tipo P-N, son capaces de absorber la luz del Sol y convertirla en electricidad del tipo corriente directa (CD) sin ningún proceso intermedio.   |
| <b>Electrificación rural</b> | Dar acceso a la electricidad a comunidades rurales, generalmente lejanas de las redes de distribución.   |
| <b>Energías limpias</b>      | De acuerdo con lo que establece la ENE 2012-2026, se consideran energías limpias a aquellas que provienen de fuentes renovables, grandes hidroeléctricas, carboeléctricas y ciclos combinados que cuenten con captura y secuestro de carbono (CO <sub>2</sub> ) y energía nuclear. La característica común entre las energías limpias es su nula o muy baja emisión de contaminantes a la atmósfera. |
| <b>Energía no fósil</b>      | Energía generada a partir de grandes hidroeléctricas, fuentes renovables, nuclear y nueva generación limpia.   |
| <b>Energías renovables</b>   | En México se consideran energías renovables aquellas reguladas por el artículo 3° fracción II de la LAERFTE, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica.                                  |
| <b>Energía solar térmica</b> | Se refiere al aprovechamiento de la energía solar para elevar la temperatura o presión de un fluido.   |
| <b>Estructura tarifaria</b>  | Es el sistema de precios que se establece para recuperar los costos del servicio de la energía eléctrica y se organizan por tipos de usuario, por niveles de consumo y potencia, y por nivel del voltaje con el que se les alimenta.   |
| <b>Etanol</b>                | Compuesto químico que puede utilizarse como combustible.   |
| <b>Etanol anhidro</b>        | Tipo de alcohol etílico que se caracteriza por tener muy bajo contenido de agua y ser compatible para mezclar con gasolinas en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características.  |
| <b>Gas natural licuado</b>   | Gas natural compuesto predominantemente de metano (CH <sub>4</sub> ), que ha sido licuado por compresión y enfriamiento, para facilitar su transporte y almacenamiento.  |
| <b>Gasificación</b>          | Proceso de convertir sólidos o líquidos en gas.  |

|  |  |
|--|--|
| <b>Generación distribuida</b>            | Instalaciones de generación en el sitio mismo donde se consume y dimensionadas para cubrir parcial o totalmente las necesidades del usuario.   |
| <b>Generación termosolar de potencia</b> | Generación de electricidad a partir de vapor obtenido de energía solar y para aplicaciones con altos voltajes y corrientes eléctricas.   |
| <b>Geotermia</b>                         | Calor de la corteza terrestre.   |
| <b>Intercambiador de calor</b>           | Dispositivo que permite transferir el calor de un fluido a otro por procesos de conducción y convección.   |
| <b>Inversor</b>                          | Dispositivo que convierte la energía de corriente continua procedente de un generador fotovoltaico en corriente alterna.   |
| <b>Lecho fluidizado</b>                  | Se refiere a la combustión de carbón, en partículas de 5-10 mm, que es quemado en un lecho fluidizado con partículas sólidas inertes cuyo tamaño está comprendido entre 0.5-3 mm. Tiene ventajas como la reducción de las emisiones y la flexibilidad que ofrece para quemar combustibles por debajo del poder calorífico. |
| <b>Marea</b>                             | Cambio periódico del nivel del mar, producido principalmente por las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol.   |
| <b>Materia celulósica</b>                | Se refiere a la materia que integra los tejidos que le dan sostén a las plantas y que dan forma la mayor parte de la biomasa terrestre.  |
| <b>Mediana y baja temperaturas</b>       | Sistemas de aprovechamiento de la energía geotérmica que funcionan con suministro de vapor abajo de 200°C.   |
| <b>Módulo solar</b>                      | Conjunto de unidades que operan con energía solar.   |
| <b>Motor de combustión interna</b>       | Máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión.   |
| <b>Plantaciones energéticas</b>          | Plantaciones cuyo propósito principal es de obtener bioenergéticos.  |
| <b>Plataformas flotantes</b>             | Se refiere a estructuras que flotan en el mar y que sostienen a un aerogenerador.  |
| <b>Plato parabólico</b>                  | Espejo cóncavo parabólico que concentra la luz del Sol y que cuenta con un sistema de seguimiento de dos ejes para seguirlo.   |
| <b>Proyecto de autoabastecimiento</b>    | 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.   |



|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Recurso eólico</b>          | Se refiere a viento que es aprovechable para generar energía eléctrica.   |
| <b>Recursos bioenergéticos</b> | Conjunto de recursos disponibles de biomasa que se pueden aprovechar como energético.   |
| <b>Red</b>                     | Conjunto de elementos de transmisión, transformación y compensación, interconectados para el transporte de energía.   |
| <b>Refractarios</b>            | Material resistente al calor.   |
| <b>Rellenos sanitarios</b>     | Sistemas de almacenamiento de desechos urbanos con elementos que permite.   |
| <b>Reservas posibles</b>       | Son aquellas que por sus volúmenes, situación geológica y de diseño son de recuperación comercial menos segura que las reservas probables. De acuerdo con esta definición, cuando son utilizados métodos probabilísticos la suma de las reservas probadas, probables y posibles, tendrá al menos una probabilidad del 10% de que las cantidades realmente recuperadas sean iguales o mayores. |
| <b>Reservas probables</b>      | Son aquellas donde el análisis geológico y de ingeniería de yacimientos, incorporado a un análisis probabilístico (Montecarlo) del método volumétrico, indica que hay una probabilidad de, al menos, 50% de que las cantidades por recuperar sean iguales o mayores que la suma de las reservas probadas y reservas probables.  |
| <b>Reservas probadas</b>       | Son aquellas reservas de yacimientos conocidas que, de acuerdo con el análisis de geología e ingeniería, se estima con “razonable certeza”, recuperables comercialmente en las condiciones económicas y métodos de operación actuales.  |
| <b>Salmuera</b>                | Agua con alto contenido de sal.   |
| <b>Sector eléctrico</b>        | Conjunto de participantes, públicos y privados, que intervienen en los procesos de generación, transmisión, y distribución de la energía eléctrica.   |
| <b>Semiconductores</b>         | Una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de diversos factores.  |
| <b>Sistema eléctrico</b>       | 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.   |

|  |   |
|--|---|
| <b>Sistemas de control inteligente</b> | Sistemas de control con capacidad de emular características importantes de la inteligencia humana (adaptación, aprendizaje, tratamiento de grandes cantidades de datos y tratamiento de incertidumbre).   |
| <b>Subsidios al consumo final</b>      | Se refiere al costo del servicio no cubierto por su usuario final.  |
| <b>Suministrador</b>                   | Comisión Federal de Electricidad.   |
| <b>Superficies selectivas</b>          | Pinturas y capas superficiales con propiedades superiores de absorción de la energía solar.   |
| <b>Tecnologías limpias</b>             | Sistemas para generar electricidad mediante el uso de energías renovables (eólica, geotermia, hidroeléctrica menor que 30 MW, la biomasa y la solar), las grandes hidroeléctricas, carboeléctricas y ciclos combinados, que cuenten con captura y secuestro de bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) y energía nuclear. |
| <b>Turbinas eólicas</b>                | Equipos que transforman la energía del viento en energía mecánica aprovechable por un generador eléctrico.  |
| <b>Ultra Bajo Azufre (UBA)</b>         | Término usado para diesel con muy bajo contenido de azufre.   |
| <b>Ventilas hidrotermales</b>          | Se refiere a las salidas de fluido geotérmico en el lecho marino.   |
| <b>Voltaje</b>                         | Potencia electromotriz medida en voltios entre dos puntos.  |

## Anexo 5. Abreviaturas, siglas y acrónimos

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>AIE</b>      | Agencia Internacional de Energía  |
| <b>ANES</b>     | Asociación Nacional de Energía Solar  |
| <b>ASA</b>      | Aeropuerto y Servicios Auxiliares   |
| <b>CFE</b>      | Comisión Federal de Electricidad  |
| <b>CI</b>       | Combustión Interna  |
| <b>CIE-UNAM</b> | Centro de Investigaciones en Energía de la UNAM   |
| <b>CNA</b>      | Comisión Nacional del Agua  |
| <b>CONAE</b>    | Comisión Nacional para el Ahorro de Energía   |
| <b>CONUEE</b>   | Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía   |
| <b>CRE</b>      | Comisión Reguladora de Energía  |
| <b>DAC</b>      | Tarifa Doméstica de Alto Consumo  |
| <b>DAL</b>      | Demanda autoabastecida de forma local   |
| <b>DAR</b>      | Demanda autoabastecida de forma remota  |
| <b>DOF</b>      | Diario Oficial de la Federación   |
| <b>EIA</b>      | <i>Energy Information Administration</i>  |
| <b>EJ</b>       | $10^{18}$ Joule   |
| <b>GIZ</b>      | <i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.</i> Agencia de Cooperación internacional alemana al desarrollo. |
| <b>GW</b>       | Gigawatt  |
| <b>GWh</b>      | Gigawatt-hora   |
| <b>IEA</b>      | <i>International Energy Agency</i>  |

|                |  |
|----------------|--|
| <b>II</b>      | Instituto de Ingeniería de la UNAM   |
| <b>IIE</b>     | Instituto de Investigaciones Eléctricas  |
| <b>INIFAP</b>  | Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  |
| <b>J</b>       | Joule. Es la cantidad de energía necesaria para mover un kilogramo a lo largo de una distancia de un metro, aplicando una aceleración de un metro por segundo al cuadrado. |
| <b>kW</b>      | Kilowatt   |
| <b>kWh</b>     | Kilowatt-hora  |
| <b>LASE</b>    | Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía  |
| <b>LAERFTE</b> | Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.  |
| <b>mbd</b>     | Millones de barriles por día   |
| <b>MDL</b>     | Mecanismo de Desarrollo Limpio.  |
| <b>mmpcd</b>   | Millones de pies cúbicos diarios   |
| <b>MT</b>      | Media tensión  |
| <b>Mtpe</b>    | Millones de Toneladas de petróleo equivalente.   |
| <b>MVA</b>     | Megavolt- amper  |
| <b>MW</b>      | Megawatt   |
| <b>MWe</b>     | Megawatt eléctrico   |
| <b>MWh</b>     | Megawatt-hora  |
| <b>n.a.</b>    | No aplica  |
| <b>NMX</b>     | Norma mexicana.  |
| <b>NOM</b>     | Norma Oficial Mexicana   |
| <b>OES</b>     | <i>Ocean Energy Systems</i>  |
| <b>REMBIO</b>  | Red Mexicana de Bioenergía   |
| <b>SEN</b>     | Sistema Eléctrico Nacional   |

|               |   |
|---------------|---|
| <b>SENER</b>  | Secretaría de Energía   |
| <b>SIN</b>    | Sistema Interconectado Nacional                                   |
| <b>SNIARN</b> | Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales |
| <b>TWh</b>    | Terawatt-hora   |
| <b>UBA</b>    | Ultra Bajo Azufre   |



# Referencias

Adame J. (2010), Potencial Nacional de las Energías Eólica y Geotérmica. Historia, Desarrollo y Futuro del Sector Eléctrico de México, UMAI.

Alatorre C. (2009), Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009. México DF, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH.

AMDEE. (2012), "Iniciativa para el desarrollo del potencial eólico en México", elaborada por PWC.

ANES. (2010), "Balance Nacional de Energía 2010", Obtenido el 1o de diciembre de 2011, de la página: [http://www.anes.org/anes/index.php?option=com\\_wrapper&Itemid=13](http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=13)

*Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond EUR22066 EC.*

Borja M. y Galarza R. (2010), Investigación y desarrollo tecnológico en el tema de la generación eolieléctrica, Boletín IIE, Cuernavaca, Instituto de Investigaciones Eléctricas, julio-agosto, 2000.

Brailovsky P., Torres D. y Romero S., (2011), Capítulo 10: Energía solar térmica; Energías Renovables: Impulso político y tecnológico para un México sustentable. USAID-ITAM.

*British Petroleum. 2010, Statistical Review of World Energy 2010.*

CanmetENERGY. (2010), "Small Hydropower." Obtenida el 22 de diciembre, 2010, de la página:

[http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-nrcan.gc.ca/eng/renewables/small\\_hydropower.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-nrcan.gc.ca/eng/renewables/small_hydropower.html)

Central Energía, (2010). Disponible en:

<http://centralenergia.cl/2010/10/04/potencial-maremotriz-de-chile/>

CEPAL. 2007, *Market Evaluation: Fuel Ethanol*, Unicamp 2007.

CFE (2010), Unidades Generadoras en Operación. Capacidad, 2009. Comisión Federal de Electricidad. México: 130.

Charlier R.H. Justus J.R. (1993). *Ocean Energies Environmental, Economic and Technological Aspects of Alternative Power Sources. Elsevier Oceanography Series 56.*

CIE-UNAM (2004), Nuevas Energías Renovables: Una Alternativa Energética Sustentable para México. México, Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República,: 183.

CONAE (2007), Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (2007-2012).

CONAE. (2006), "Guía de Gestiones para Implementar una Planta de Generación Eléctrica que Utiliza Energías Renovables en México." Consultado el 7 de noviembre de 2010, de:

[http://www.layerlin.org/ppeminihidra\\_2.html](http://www.layerlin.org/ppeminihidra_2.html)

CONUEE, (2008), "Irradiación global media en la República Mexicana". Tabla, CONUEE, México. Consultado el 12 de octubre de 2009, en:

[http://www.conae.gob.mx/wb/procalsol/energia\\_solar2](http://www.conae.gob.mx/wb/procalsol/energia_solar2)

CRE. (2010), "Permisos para la Generación Privada." Obtenida el 6 de enero de 2011, de:

<http://cre.gob.mx/articulo.aspx?id=171>

Dhussa, A. K. y Vashney, A.K. (UNDP, 2000), *Energy Recovery from Municipal Solid West*

Edgar Santoyo-Gutiérrez e Ignacio S. Torres-Alvarado, Centro de Investigación en Energía, UNAM. Revista digital Universitaria, 1o de octubre de 2010 • Vol. 11 No. 10 • ISSN: 1067-6079

ENTE SC, Marbek Consultants, *et al.* (2009), Recursos de capacitación en energía renovable: estudio y evaluación. Montreal, Commission for Environmental Cooperation.

ESMAP (2007), *Technical and Economic Assessment of Off-grid, Mini-grid and Grid Electrification Technologies*. T. W. Bank, The World Bank.

Eu-oea. (2010), obtenida el 10 de diciembre de 2010, de la página

<http://www.eu-oea.com/index.asp?sid=74>

Fideicomiso de Riesgo Compartido. Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario, p.14.

Hiriart G. (2011), Evaluación de la Energía Geotérmica en México, Informe para el BID. México.

Iglesias E., Arellano V. *et al.* (2005), Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Geotermia en México. Cuernavaca, Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Iglesias E. *et al.* (2010), Resumen de la evaluación 2010 de los recursos geotérmicos mexicanos de temperatura intermedia a baja. IIE.

IIE. (2010), "Explorador de Recursos Renovables." Obtenida el 10 de enero, 2011, de la página <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>

INIFAP. (2010), "Bioenergéticos." Obtenido el 1o de diciembre de 2010, de la página <http://www.agromapas.inifap.gob.mx/>

*International Energy Agency. 2010, Electricity Information 2010.*



*International Energy Agency. 2011, Renewables Information 2011.*

*International Energy Agency. 2010, World Energy Outlook (WEO) 2010.*

*Itron (2007), Solar PV Costs and Incentive Factors. Vancouver, CPUC Energy Division, Landfill Gas to Energy Project Opportunities, EPA 430 K 99 002, 1999.*

López-González J. *et al.* (2009), Cuantificación de energía de una planta mareomotriz. II, UNAM.

Masera O. (Coordinador) (2006). La Bioenergía en México. Un catalizador del desarrollo sustentable.

Masera O., Aguillón J. *et al.* (2005), Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa Como Energético Renovable en México. México DF, Secretaría de Energía,: 118.

Maya R. (2007), La Geotermia y Fuentes Alternas en la Generación de Energía Eléctrica.

Peter S. y Lehmann H. (2008), *Renewable Energy Outlook 2030, Energy Watch Group / Ludwig-Boelkow-Foundation, 155.*

Presidencia de la República (2007), Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.

*REN21. 2010, Renewables 2010 Global Status Report.*

*REN21. 2011, Renewables 2011 Global Status Report.*

*REN21. 2012, Renewables 2012 Global Status Report.*

SAGARPA (2009), Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico 2009-2012.

SAGARPA (2010), "Monografía de Palma de Aceite." Obtenida el 30 de noviembre de 2010, de la página <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Palma.pdf>

Sánchez, N. (2008). El cambio global del clima y algunos efectos sobre los ecosistemas. De las bacterias al clima: un enfoque ecológico, México, D.F., UAM, pp. 207-233.

Santoyo-Gutiérrez E. y Torres-Alvarado I. (2010), Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. Revista digital Universitaria, México D.F., UNAM. 11.

Schmidt, David, *Anaerobic Digestion Overview.* <http://www.extension.umn.edu/capacity/afe/components/Powerpoints/SchmidtAndigest.ppt>

SENER (2009), Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009.

SENER (2009), Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables.

SENER (2010), Balance Nacional de Energía 2009.

SENER (2011), Programa de Introducción de Etanol Anhidro.

SENER (2012), Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, elaborada por PWC.

SENER y GTZ (2006), Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiésel para el Transporte en México.

SEMARNAT. SNIARN, Base de datos estadísticos, Módulo de consulta temática, Dimensión ambiental, <http://www.semarnat.gob.mx> (Consulta: 15 de junio de 2011).

Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) de la SEMARNAT.

México. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx>

*United Nations. 3rd UN World Water Development Report, 2009.*

Valdés H. (2005), Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía: Aplicaciones en México. Cuernavaca, Valdés Ingenieros, 19.

VIII Censo agrícola, ganadero y forestal 2007, p. 21 y 22.

*Wind Energy International, Wind Energy Scenarios 2010.*

*World Energy Council, 2010 Survey of Energy Resources.*

#### Direcciones electrónicas nacionales de interés sobre el sector energético:

<http://www.energia.gob.mx>

<http://www.cre.gob.mx>

<http://www.cfe.gob.mx>

<http://www.iie.org.mx>

<http://evaluarer.iie.org.mx>

<http://www.anes.org>

<http://agromapas.inifap.gob.mx>

<http://www.camaraazucarera.org.mx>

<http://www.procaisol.gob.mx/wb/>

Secretaría de Energía

Comisión Reguladora de Energía

Comisión Federal de Electricidad

Instituto de Investigaciones Eléctricas

Proyecto SIGER, IIE

Asociación Nacional de Energía Solar

INIFAP

#### Direcciones electrónicas internacionales de interés general y específico:

<http://energy.gov>

<http://www.eia.gov>

<http://www.nrel.gov>

<http://www.iea.org>

<http://www.imf.org/external/index.htm>

<http://www.oecd.org>

<http://www.worldenergy.org>

U.S. Department of Energy

U.S. Energy Information Administration

National Renewable Energy Laboratory

International Energy Agency

Fondo Monetario Internacional

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

Consejo Mundial de Energía

<http://www.olade.org.ec/intro>  
<http://www.wwindea.org/home/index.php>  
<http://www.gwec.net>  
<http://www.geothermal-energy.org>  
<http://www.ren21.org/>  
<http://www.solarpaces.org/inicio.php>

Organización Latinoamericana de Energía  
World Wind Energy Association  
Global Wind Energy Council  
International Geothermal Association  
Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century  
Solar Power and Chemical Energy Systems

**Notas aclaratorias:**

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

## Referencias para la recepción de comentarios

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

### **Subsecretaría de Planeación y Transición Energética**

#### **Secretaría de Energía**

Insurgentes Sur 890, piso 3, Col. del Valle

México D.F. 03100

Tel: +(5255) 5000-6000 ext. 1418

#### **Coordinación de la publicación:**

#### **Dirección General de Planeación e Información Energéticas**

Tel: +(5255) 5000-6000 ext. 1418, 2097

E-mail: [prospectivas@energia.gob.mx](mailto:prospectivas@energia.gob.mx)

Los particulares que deseen precisar la información sobre las opciones de inversión en el sector, favor de dirigirse a:

### **Dirección General de Eficiencia Energética e Innovación Tecnológica**

#### **Secretaría de Energía**

Tel: +(5255) 5000-6000 ext. 2281

Consultas adicionales de información: [www.renovables.gob.mx](http://www.renovables.gob.mx)