

# LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y FOTOTÉRMICA EN MÉXICO







# **LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y FOTOTÉRMICA EN MÉXICO**

## PROMÉXICO

Paulo Carreño King  
Director General

### UNIDAD DE INTELIGENCIA DE NEGOCIOS

Marco Erick Espinosa Vincens  
Jefe de Unidad

Claudia Esteves Cano  
Directora Ejecutiva de Estrategia

### UNIDAD DE DESARROLLO SECTORIAL

César J. Fragozo López  
Jefe de Unidad

Erika Salazar Sugich  
Directora Ejecutiva Sectorial C.

## DIRECTORIO DE INSTITUCIONES COORDINADORAS

### DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) GMBH

**Marita Brömmelmeier**  
Directora Residente de GIZ México

**Trudy Könemund**  
Directora del Programa Eficiencia Energética y Energías Renovables –  
Energía Solar a Gran Escala en México (DKTI Solar)

**Joscha Rosenbusch**  
Asesor Principal del Programa DKTI Solar

**Hermilio Ortega**  
Asesor del Programa DKTI Solar

### FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

**Wolfgang Kramer**  
Jefe del Departamento de Tecnologías de Calentamiento y Enfriamiento

**Christoph Kost**  
Jefe del Equipo de Sistemas y Mercados Energéticos

### INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES (IER) – UNAM

**Antonio del Río Portilla**  
Director del IER

**Manuel Martínez Fernández**  
Profesor-Investigador en el área de planeación prospectiva para el desarrollo sustentable

**Karla G. Cedano Villavicencio**  
Secretaría de Gestión Tecnológica y Vinculación





<b>TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICAS</b>	<b>10</b>
<b>LISTADO DE ABREVIATURAS</b>	<b>12</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>16</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>19</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>24</b>
<b>La industria solar en el mundo</b>	
1.1 Tecnología solar a nivel mundial	
1.1.1 Sistemas fotovoltaicos	
1.1.2 Sistemas fototérmicos	
1.1.2.1 Calor solar para procesos industriales	
1.1.2.2 Calor solar para la generación de electricidad	
1.2 Despliegue de la tecnología solar a nivel mundial	
1.2.1 Generación de electricidad	
1.2.2 Generación de calor	
1.3 Costos de la tecnología	
1.3.1 Solar fotovoltaica	
1.3.2 Solar fototérmica de concentración para generación de electricidad	
1.3.3 Solar fototérmica para generación de calor	
1.4 Costos nivelados de energía	
1.5 Inversión global en energía solar	
1.6 Perfil de manufactura de tecnologías fotovoltaicas en las principales economías a nivel global	
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>52</b>
<b>La industria solar en México</b>	
2.1 Energía solar en México	
2.2 Energía solar fotovoltaica	
2.2.1 Sector eléctrico de gran escala	
2.2.2 Generación distribuida	
2.3 Energía solar fototérmica	
2.3.1 Sector residencial	
2.3.2 Sector comercial	
2.3.3 Sector industrial	

- 2.4 Perfil de manufactura de tecnología fotovoltaica en México
- 2.5 Perfil de manufactura de tecnología fototérmica en México

## **CAPÍTULO 3**

### **Impulsores para el desarrollo de la industria solar en México**

**76**

- 3.1 Nuevo modelo del sector energético
- 3.2 Mercado
  - 3.2.1 Demanda esperada
    - a) Demanda de electricidad
    - b) Demanda en los sectores de uso final
- 3.3 Potenciales para la implementación de energía solar
  - 3.3.1 Sector eléctrico/gran escala
  - 3.3.2 Generación distribuida
  - 3.3.3 Energía solar fototérmica
- 3.4 I+D
- 3.5 Recurso humano
  - 3.5.1 Demanda de recursos humanos
  - 3.5.2 Recursos humanos requeridos en la industria solar
  - 3.5.3 Formación de recursos humanos
- 3.6 Calidad de productos
- 3.7 Formulación de la agenda y toma de decisiones
- 3.8 Otros mapas de ruta
- 3.9 Planeación
- 3.10 Análisis FODA
- 3.11 Análisis de tendencias
- 3.12 Definición de hitos
- 3.13 Proyectos estratégicos
  - 3.13.1 Proyectos transversales
- 3.14 Diagrama del MR
  - 3.14.1 MR de energía solar fotovoltaica en México 2016-2035
  - 3.14.2 MR de energía solar fototérmica en México 2016-2035

## **CONCLUSIONES**

**134**

## **ANEXO 1**

Matriz de capacidades, productos, procesos y servicios

**140**

## **ANEXO 2**

Directorio de empresas y organismos participantes

**160**

## **BIBLIOGRAFÍA**

**164**



# FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS

Tabla 1	Costos de inversión de sistemas solares térmicos en diferentes regiones	41
Tabla 2	LCOH a diferentes escalas	43
Tabla 3	Principales indicadores de energías renovables a nivel global	44
Tabla 4	Permisos de generación e importación de energía eléctrica	57
Tabla 5	Nueva capacidad a ser instalada y empresas desarrolladoras, 1ª y 2ª subastas de largo plazo	58
Tabla 6	Producción de colectores solares en México durante 2014	72
Tabla 7	Valor del comercio de calentadores solares de agua en 2016	73
Tabla 8	Balanza comercial de calentadores solares de agua de tubos evacuados en distintos países, en 2016	73
Tabla 9	Importaciones y exportaciones en 2016 de calentadores solares de agua de placa plana en distintos países	75
Tabla 10	Proyectos de I+D tecnológico en materia de energía solar apoyados por el Fondo de Sustentabilidad Energética, 2011-2105	92
Tabla 11	Recursos de apoyo a proyectos de I+D provenientes del Fondo de Sustentabilidad Energética y año de finalización	94
Tabla 12	Proyectos estratégicos del CEMIE Sol	95
Tabla 13	Recurso humano requerido por la Industria Solar en México	100
Tabla 14	Formación de recursos humanos en materia solar previstos al cierre de los proyectos apoyados por el Fondo de Sustentabilidad Energética	103
Tabla 15	Personal certificado a través del Comité de Gestión por Competencias de Energía Renovable y Eficiencia Energética	105
Tabla 16	Integrantes del grupo de confianza para el MR de la industria solar fotovoltaica y fototérmica en México	111
Tabla 17	Eventos históricos más relevantes dentro del sector energético a nivel mundial	112
Tabla 18	Hechos relevantes identificados dentro del sector energético en México	112
Tabla 19	Principales tendencias ambientales, políticas, económicas y tecnológicas del sector fotovoltaico	116
Tabla 20	Principales tendencias ambientales, políticas, económicas y tecnológicas del sector fototérmico	116
Tabla 21	Hitos estratégicos identificados para la industria solar fotovoltaica mexicana	117
Tabla 22	Hitos estratégicos identificados para la industria solar fototérmica mexicana	117
Tabla 23	Proyectos propuestos para el sector solar fotovoltaico en México	119
Tabla 24	Proyectos propuestos para el sector solar fototérmico en México	125
Tabla 25	Proyectos transversales propuestos para el sector solar en México	128
Figura 1	Representación esquemática de un módulo solar fotovoltaico	30
Figura 2	Representación esquemática de un colector de tubo de calor evacuado	32
Figura 3	Representación del suministro de energía solar térmica para precalentamiento de agua	33
Figura 4	Representación de la operación de una torre solar que utiliza sal como fluido de trabajo	34
Figura 5	Rutas para la generación de hidrógeno mediante potenciales de concentración solar	34
Figura 6	Nuevos desarrollos de proyectos fotovoltaicos derivados de la 1ª y 2ª subastas de largo plazo	59
Figura 7	Nuevo modelo de la industria eléctrica en México	80
Figura 8	Oportunidades de mercado para la energía solar a gran escala en México	82
Figura 9	Nuevos esquemas de contraprestación para la generación distribuida en México	83
Figura 10	Estrategia de acción global del Fondo de Sustentabilidad Energética	91
Figura 11	Distribución de nuevos empleos directos en el sector energético mexicano, y dependencias responsables para 2018	99
Figura 12	IEA: MR para la industria fotovoltaica — hitos	109
Figura 13	Plan SET: Mapa de ruta tecnológico para la implementación de las iniciativas industriales europeas	110
Figura 14	Análisis FODA para la industria fotovoltaica del sector energético mexicano	113
Figura 15	Análisis FODA para la industria fototérmica del sector energético mexicano	114
Figura 16	MR de energía solar fotovoltaica en México, 2016-2035	131
Figura 17	MR de energía solar fototérmica en México, 2016-2035	132

Gráfica 1	Evolución en la eficiencia de las celdas solares	28
Gráfica 2	Evolución de la capacidad instalada de algunas energías renovables	35
Gráfica 3	Capacidad instalada solar fotovoltaica al cierre de 2015	36
Gráfica 4	Capacidad instalada de CSA a nivel mundial	36
Gráfica 5	Distribución de sistemas solares térmicos por aplicación	37
Gráfica 6	Disminución en los costos de generación fotovoltaica	38
Gráfica 7	Evolución en el capex de las tecnologías fotovoltaica a gran escala y eólica	39
Gráfica 8	Costos de inversión de la tecnología de concentración solar	40
Gráfica 9	Costos nivelados de electricidad 2010-2016	42
Gráfica 10	LCOE de la tecnología solar	42
Gráfica 11	Nueva inversión a nivel global en energía renovables por sector en 2015, y crecimiento con respecto a 2014	44
Gráfica 12	Adiciones de calentadores solares de agua, 18 países que mayor capacidad añadieron en 2015	45
Gráfica 13	Balanza comercial y flujos comerciales para módulos FV, 2014	47
Gráfica 14	Balanza comercial de módulos fotovoltaicos, células y polisilicio.	48
Gráfica 15	Tamaño del mercado en 12 economías para cuatro tecnologías de energía limpia	49
Gráfica 16	Utilización de la capacidad de producción de cuatro productos de tecnología de energía limpia	50
Gráfica 17	Estructura de la oferta interna bruta de energía en México, 2005 y 2015	55
Gráfica 18	Producción primaria de energía en México	55
Gráfica 19	Evolución de la capacidad y generación de electricidad fotovoltaica	56
Gráfica 20	Número de contratos y capacidad instalada por grupo tarifario de generación distribuida	59
Gráfica 21	Evolución en la capacidad instalada de tecnología solar fotovoltaica en generación distribuida	60
Gráfica 22	Capacidad instalada de energía solar fotovoltaica por modalidad	61
Gráfica 23	Evolución de la capacidad instalada de CSA por tipo de tecnología	62
Gráfica 24	Evolución de la superficie instalada de CSA en México	64
Gráfica 25	Evolución del consumo de energía solar en los sectores residencial, comercial e industrial	65
Gráfica 26	Capacidad de CSA instalada en el sector industrial	66
Gráfica 27	Distribución de número de proyecto por tipo de aplicación	66
Gráfica 28	Distribución de proyectos por rango de producción de agua caliente al día	67
Gráfica 29	Valor agregado de México y valor agregado retenido para diversas tecnologías de energía limpia, 2014	68
Gráfica 30	Flujos comerciales y balanza comercial de módulos fotovoltaicos de México en 2014	69
Gráfica 31	Total de nueva inversión de México en energía limpia por sector, 2004-2015	70
Gráfica 32	Capacidad instalada de fabricación de paneles fotovoltaicos en México	71
Gráfica 33	Balanza comercial de México de calentadores solares de agua de tubos evacuados, 2016	74
Gráfica 34	Balanza comercial de calentadores solares de agua de placa plana en México, 2016	75
Gráfica 35	Porcentaje de participación de energías limpias en la generación de energía eléctrica en México	80
Gráfica 36	Obligación anual de adquisición de CEL	81
Gráfica 37	Evolución de la capacidad total instalada en México, por tipo de tecnología limpia	84
Gráfica 38	Consumo final energético total por sector (escenario base*), 2016-2050	85
Gráfica 39	Evolución de la inversión estimada en generación por tecnología 2016-2030	86
Gráfica 40	Capacidad adicional acumulada de energía solar fotovoltaica en México	87
Gráfica 41	Distribución de usuarios del servicio de suministro eléctrico con demanda máxima mayor a 1 MW por entidad federativa, según el nivel de demanda	88
Gráfica 42	Capacidad instalada de generación distribuida y tendencia de crecimiento a 2022	89
Gráfica 43	Potencial de aprovechamiento de la energía solar térmica en México, 2015-2030	90

# LISTADO DE ABREVIATURAS

ABM	Asociación de Bancos de México
ANCE	Asociación Nacional de Normalización y Certificación
ANES	Asociación Nacional de Energía Solar
AMDEE	Asociación Mexicana de Energía Eólica
AMFEF	Asociación Mexicana de Fabricantes de Equipos Fotovoltaicos
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASOLMEX	Asociación Mexicana de Energía Solar Fotovoltaica
CCP	Concentrador cilindro parabólico
CEL	Certificado de energía limpia
CEMIE	Centro Mexicano de Innovación en Energía
CENCER	Centro Nacional de Capacitación en Energías Renovables
CER	Certificaciones de Reducción de Emisiones
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CFV	Concentración fotovoltaica
CN	Carbono negro
CO <sub>2</sub> e	Dióxido de carbono equivalente
COFEC	Coordinación de Fomento Económico y Competitividad / Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de México
Conacyt	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONOCER	Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CPC	Concentrador parabólico compuesto
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CSA	Calentadores solares de agua
CSP	Concentración solar de potencia
DOF	Diario Oficial de la Federación
ETC	Concentrador solar de tubos evacuados
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
FODA	Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas
FOTEASE	Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
Fraunhofer ISE	Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme
FT	Fototérmico
FTC	Fluido de transferencia de calor
FV	Fotovoltaico
GC	Grupo de Confianza
GEI	Gases de efecto invernadero
GENI	Global Energy Network Institute
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
I+D	Investigación y Desarrollo
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IER	Instituto de Energías Renovables
INEEL	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias
Infonavit	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores

IPN	Instituto Politécnico Nacional
IRENA	International Renewable Energy Agency
ISES	International Solar Energy Society
ISM	Industria Solar Mexicana
ISO	International Organization for Standardization
kW	kilowatt
kWh	kilowatt-hora
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
MEM	Mercado eléctrico mayorista
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MR	Mapa de Ruta
MW	Megawatt
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
O&M	Operación y mantenimiento
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PIB	Producto Interno Bruto
PIE	Productor independiente de energía
PJ	Petajoule
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
PROCALSOL	Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México
ProMéxico	Fideicomiso Público ProMéxico
PTC	Plantas de cilindros parabólicos
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SCS	Sistema de concentración solar
SE	Secretaría de Economía
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SFT	Solar fototérmico/a
SFV	Solar fotovoltaico/a
TW	Terawatt
TWh	Terawatt-hora
UACM	Universidad Autónoma de la Ciudad de México
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México



# PRESENTACIÓN

---

**E**l acceso a energía de forma segura y a bajo costo es un factor fundamental para definir el destino de los grandes proyectos de inversión en el mundo. Esta tendencia internacional ha propiciado que un gran número de países reformaran sus leyes para fomentar el desarrollo de proyectos de generación energética a través de fuentes renovables que permitan garantizar su competitividad.

El Gobierno de México, consciente de la transformación que ha experimentado el sector energético, impulsó una reforma integral que sentó las bases para definir un marco normativo claro, con instituciones y procesos transparentes para impulsar el desarrollo de un mercado eléctrico más competitivo. Bajo este panorama, México ha logrado importantes resultados: en las primeras dos subastas eléctricas, llevadas a cabo en marzo y septiembre de 2016, respectivamente, se registraron precios históricos en materia de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables y se comprometieron inversiones que superarán los 6,000 millones de dólares en los próximos tres años.

México cuenta con un gran potencial de generación de energías renovables, especialmente energía solar, ya que el país tiene una ubicación geográfica privilegiada, dentro de una de las zonas con mayor irradiación solar a nivel mundial. Sin embargo, hasta hace muy poco tiempo este tipo de energía era muy limitada en la matriz energética del país debido a las condiciones de costos y eficiencia, por lo que otras fuentes de generación se consolidaron como prioritarias. En la búsqueda para revertir esta situación, los avances tecnológicos se han convertido en un gran aliado y hoy la energía solar se presenta como la fuente de generación más competitiva del mercado.

Con el fin de seguir impulsando el sector fotovoltaico y fototérmico en el país, ProMéxico en colaboración con la GIZ, ha desarrollado un mapa de ruta. Este documento fue un espacio de diálogo donde convergieron los sectores privado, académico y público. A partir de este diálogo, se estructuró un mapa de ruta que integra acciones estratégicas para aprovechar las oportunidades y atender los riesgos.

Para ProMéxico ha sido muy enriquecedor desarrollar un mapa de ruta para un sector con el potencial y el impacto que puede tener la industria solar sobre las formas de generación de energía eléctrica y en el futuro de la economía global.

Estamos convencidos de que, con este documento como base, surgirán múltiples proyectos que fortalecerán la competitividad de México en los mercados internacionales.

— *Paulo Carreño King*  
*Director General de ProMéxico*

# PRÓLOGO

---

Los sistemas energéticos de todo el mundo están entrando en una fase de transformación. En años recientes diferentes países, incluidos Alemania y México, han iniciado procesos de transición energética adoptando objetivos ambiciosos para avanzar hacia una economía con bajas emisiones de carbono y mercados energéticos plenamente integrados. Además, la mayoría de los países del G20 han decidido ratificar su apoyo a los Acuerdos de París sobre el Clima (COP21), aprobando un plan de acción por el clima y la energía, para acelerar la transición hacia un futuro resiliente y bajo en carbono y limitar el calentamiento global muy por debajo de 2°C.

Alemania está desempeñando un papel prominente en este proceso de transformación, habiendo adoptado uno de los programas de transición energética más ambiciosos de todas las naciones industriales: la Energiewende. Con esta estrategia a largo plazo, iniciada hace más de una década y vigorizada tras el accidente nuclear de Fukushima, el país ha decidido transformar fundamentalmente su sector energético, eliminando en las próximas décadas la energía nuclear y el uso de carbón a favor de las energías renovables.

En el contexto internacional, las adiciones de capacidad instalada de energía eléctrica renovable marcan record, duplicando las nuevas inversiones de la capacidad de generación de combustibles fósiles. La capacidad solar fotovoltaica fue la tecnología que más creció en 2016, representando 47% de las adiciones totales, seguida de la energía eólica y energía hidráulica.

Los precios de la electricidad a partir de la energía solar caen drásticamente año con año en diferentes economías del mundo, alcanzando en algunos casos precios similares o inferiores a los precios de la electricidad generada a través de combustibles fósiles. Gracias a la dramática reducción de costos de la tecnología, los países en desarrollo aprovechan esta situación para establecer estrategias nacionales de incorporación de esta fuente de energía en los mercados eléctricos locales.

En América Latina, Brasil, México y Chile han sido los principales países de la región que registran mayores inversiones en energías renovables, donde sobresalen nuevas inversiones en energía eólica y solar.

En el ámbito del sector de calentamiento y enfriamiento, el uso de colectores solares a nivel internacional registra una mayor capacidad instalada hasta ahora respecto a la energía solar fotovoltaica, 456 GWth y 303 GW respectivamente. La expansión del mercado termo solar continua alrededor del mundo, sin embargo, su crecimiento es a un ritmo menor en comparación con la solar fotovoltaica.

El uso de la energía solar en el mercado mexicano, en forma de electricidad y calor, representa grandes oportunidades de reducción de costos y emisiones en los principales sectores que demandan energía de la economía nacional, como el sector eléctrico, industrial, residencial y servicios.

El aprovechamiento de un emergente mercado de la energía solar en México, implica esfuerzos de los actores clave en el país para acordar estrategias nacionales de desarrollo industrial y adopción tecnológica, entre otras medidas, que permitan acelerar la transición energética y consolidar cadenas de valor en favor del desarrollo económico a nivel local. Además, representa una oportunidad para que el país se inserte en las cadenas de valor globales de la industria solar.

En este sentido, la GIZ está trabajando en conjunto con el gobierno de México y las instituciones sectoriales en la promoción de la sustentabilidad energética en el país. El Programa *Energía Solar a Gran Escala*, que la GIZ implementa por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, se suma a los esfuerzos de esta iniciativa sectorial.

En particular, la cooperación con ProMéxico ha permitido llevar a cabo un ejercicio colaborativo entre la industria, academia y los organismos públicos, para construir una visión de futuro del desarrollo de la energía solar en México, así como plantear proyectos estratégicos para alcanzar los grandes retos que implican las reformas implementadas en el sector energético.

— *Lic. Marita Brömmelmeier*  
*Directora Residente de GIZ México*



# RESUMEN EJECUTIVO

---

## *Antecedentes*

El uso de energías limpias en México va en aumento. En 2015, 20% de la generación total de electricidad provino de fuentes limpias, mientras que 28% de la capacidad instalada en el país correspondió a este tipo de fuentes. En los sectores de consumo final, residencial y comercial se ha registrado un incremento en el aprovechamiento de energías limpias, e incluso, aunque en menor medida, en el sector industrial.

Desde 2008, en México se registró un crecimiento moderado de la participación de energías renovables en la matriz de generación eléctrica; sin embargo, su despliegue estaba limitado principalmente a los mercados de autoabastecimiento de grandes usuarios y de proyectos financiados con recursos públicos.

La reforma energética de 2013 estableció nuevas regulaciones para toda la industria, convirtiendo a México en un referente para otros países por la velocidad con la que con la que se generaron cambios estructurales en los mercados energéticos. En particular, los cambios en el sector eléctrico permitirán que haya un mercado libre y abierto, promoviendo la competitividad.

La puesta en marcha del nuevo MEM ha registrado sus primeros efectos positivos. En la primera subasta de largo plazo, en 2016, el precio de la electricidad fotovoltaica llegó a 48 dólares por Megawatt-hora (USD/MWh), y se otorgaron 2,191 MW a la energía fotovoltaica y 562 MW a la eólica; estas capacidades equivalen a toda la capacidad eólica puesta en operación en México en los 10 años previos a la subasta. Ese mismo año, en la segunda subasta, se llegó a un precio de 33 USD/MWh, uno de los más bajos a nivel mundial.

Por otro lado, la SENER fijó como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica de 25% para 2018, 30% para 2021 y 35% para 2024. Además, la SEMARNAT ha hecho público que México se comprometió a reducir de manera no condicionada 22% de sus emisiones de gases GEI y 51% de las de CN para 2030.

En consonancia con lo anterior, el impulso a la investigación, el desarrollo y la innovación en energía ha tomado un nuevo auge, principalmente debido a dos factores: la creación de los CEMIE por parte de SENER y el Conacyt, y el hecho de que el gobierno federal mexicano haya definido las energías renovables como línea estratégica para la transición energética. En particular, la creación del CEMIE Sol ha reunido a instituciones de investigación, educación y empresas líderes del país en aras de fortalecer el mercado solar nacional.

## *Objetivo y alcance:*

Un MR es una herramienta de planeación integral que permite conectar el futuro deseado de un sector con las acciones y recursos necesarios para convertirlo en una realidad centrada en la innovación. Permite, además, contrastar la planeación con el entorno, la evolución de la tecnología y los factores que pueden afectar esa ruta.

Un MR es un camino que se construye en conjunto, al que se debe convocar a los principales actores del sector, con el objetivo de definir la vía que deberán seguir la industria, la academia y el gobierno para convertir al sector en una industria modelo, que derrame ventajas tecnológicas y metodológicas, establezca alianzas estratégicas, impulse la formación de talento y cree oportunidades de alto valor agregado.

Los MR no deben presentar solo una visión estática de una determinada industria, sino que deben visualizar el proceso de maduración de ese sector en el tiempo.

En este documento se presentan los resultados de un primer ejercicio que establece un plan integral dinámico de largo plazo en cuanto a la energía solar, en sus dimensiones fotovoltaica y fototérmica. El documento recoge las opiniones de los líderes del sector y define un proyecto de gran alcance. Este MR es una herramienta que facilita la detección de oportunidades de negocio para empresas tanto del sector solar, como aquellas que se insertan en las cadenas de valor.

## Metodología

El proceso para la elaboración de este MR inició con una etapa de planeación, un diagnóstico del sector que permitió conocer la situación actual de la industria solar tanto a nivel mundial como nacional, e identificar las tendencias más relevantes dentro de ella.

Posteriormente se realizaron tres talleres donde participaron dos grupos, uno de la industria fototérmica y otro de la fotovoltaica. Durante el primer taller, se presentó al GC la metodología a utilizar para la elaboración del MR para la industria solar en México y las principales tendencias mundiales de la misma. Posteriormente se trabajó en un análisis situacional, identificando los principales fortalezas y puntos a mejorar mediante un FODA. Durante el segundo taller, se validó el FODA y con esa información el GC procedió a proponer hitos para los próximos años de la industria. Finalmente, en el tercer taller se validaron las tendencias, se priorizaron los hitos y se generaron anteproyectos que permitirán a los principales actores de la industria solar alcanzar la visión propuesta para 2030.

## Estructura del documento

El documento está dividido en cuatro secciones principales. La primera presenta el marco de referencia del sector solar a nivel nacional e internacional, respecto a la situación actual y perspectivas (capítulos 2 y 3). En la segunda parte se describen los principales impulsores identificados para la ISM, mientras que en la tercera se describe la metodología utilizada para la elaboración de este MR (capítulo 4). Finalmente, en la cuarta parte se exponen los resultados obtenidos para la industria solar fototérmica y fotovoltaica (capítulo 5).

Además, en el documento se incluyen las matrices de capacidades, que permiten verificar la alineación de la industria a los objetivos planteados para el desarrollo del sector solar, así como la situación que ocupa —u ocupará— a través del inventario de sus competencias y cómo éstas se vinculan con los objetivos estratégicos propios de cada empresa.

## Resultados clave

El GC utilizó el mapa de ruta como una herramienta para apoyar la gestión y planificación de la ISM al 2030; identificó una visión de futuro y los principales hitos estratégicos para fortalecer al mercado nacional. A continuación, se mencionan algunos de los factores que se consideran esenciales para el fortalecimiento de la ISM:

### *En el sector fototérmico:*

- a) Para generación de calor:
  - Diseñar normas obligatorias mexicanas específicas para tecnologías solares térmicas en 2017.
  - Crear instrumentos financieros específicos para impulsar el desarrollo de la industria solar térmica en 2018.
  - Poner en marcha un mercado de calor en México en 2018.
  - Poner en marcha un centro internacional de capacitación y certificación de competencias y de sistemas fototérmicos en México para 2018.
  - Lograr que la participación de México en el sector fototérmico a nivel mundial llegue a 6% en 2030.
- b) Para generación de electricidad:
  - Poner en marcha una CSP de generación de electricidad para 2025.

### *En el sector fotovoltaico:*

- Poner en marcha un centro internacional de capacitación y certificación de competencias y de sistemas fotovoltaicos en México para 2018.
- Contar con cien por ciento del recurso humano necesario para el desarrollo fotovoltaico para 2020.
- Alcanzar la meta de que cuatro millones de hogares en el país cuenten con un sistema fotovoltaico de 1 kW en 2030.

- Lograr que la electricidad fotovoltaica represente 50% de la energía limpia adicional requerida para 2030.
- Conseguir que empresas mexicanas aporten 80% de los componentes necesarios para la fabricación de equipos en México en 2030.

Asimismo, el GC propuso iniciar proyectos estratégicos para alcanzar los hitos establecidos:

*En el sector fototérmico:*

- Poner en marcha una planta piloto CSP.
- Analizar el contenido nacional para la industria solar térmica.
- Impulsar el aprovechamiento de energía fototérmica por usuarios finales.
- Identificar y establecer normas obligatorias para el uso de energía fototérmica en vivienda.
- Desarrollar la cadena de valor para componentes críticos.
- Formar la Cámara de Energías Renovables.
- Crear la Comisión Nacional de Energías Renovables.

*En el sector fotovoltaico:*

- Definir un mapa de capacidades de generación y transmisión.
- Desarrollar modelos de autogeneración a partir de los consumos de electricidad de gobiernos estatales y municipales.
- Reconvertir subsidios a tarifas de bombeo agrícola y tarifas domésticas para la amortización de centrales de generación fotovoltaica.
- Simplificar procesos, desarrollar y fortalecer el marco regulatorio fotovoltaico.
- Crear una plataforma de impulso solar para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos.
- Establecer un grupo de interlocución de la industria fotovoltaica ante la ABM.
- Identificar y vigilar las capacidades nacionales en la cadena de valor de la industria solar fotovoltaica.
- Realizar I+D nacionales para la competitividad de la industria.
- Desarrollar normas obligatorias para los productos de la cadena de valor de la industria fotovoltaica.
- Crear incentivos de mercado para fortalecer generación distribuida.

Con el fin de promocionar a nivel nacional e internacional las capacidades de la industria —tanto del sector en su conjunto, como de las empresas de forma individual— y contribuir a su desarrollo, el GC elaboró la estructura de tres matrices para identificar las capacidades de la ISM, tanto en el sector fotovoltaico como en el fototérmico de alta y de baja temperatura. Esta información será utilizada para construir el inventario de capacidades de esta industria.



# INTRODUCCIÓN

---

Actualmente el sistema energético mexicano está basado principalmente en combustibles fósiles que generan enormes cantidades de gases contaminantes y consumen muchos otros insumos, como el agua. El uso de fuentes de energía renovables reduce en gran medida los problemas ambientales ocasionados por las formas convencionales de generación de energía. En el caso específico de la energía solar, México es uno de los cinco países con mayor potencial en el mundo. La cantidad de energía solar promedio que se recibe en el país es de 5 kWh por cada metro cuadrado al día, por lo que se estima que el potencial solar bruto representa alrededor de 50 veces el total de energía eléctrica generada en el país.

En este contexto, el reto para México es aprovechar la oportunidad para transformar su sector energético en uno que atraiga inversión y talento, establezca polos de competitividad ligados a redes internacionales de innovación, y genere empleos de calidad y bien remunerados. Para lograr esto, es necesario establecer planes y programas con objetivos bien definidos, centrados en las capacidades del país, que consideren la situación actual y las perspectivas del entorno para definir las estrategias que permitan superar los retos a los que se enfrentan la industria, la academia y el gobierno en el sector energético.

En este sentido, un MR es una herramienta de planeación integral que permite conectar de forma visual los hitos a futuro de un sector, con las acciones y recursos necesarios para convertirlos en realidad. Además, permite contrastar la planeación con el entorno al que se enfrentan las decisiones, la evolución de la tecnología y los factores que pueden afectar esta ruta. Un mapa de ruta centrado en la innovación es un camino que se construye en conjunto, al que debe convocarse a los principales actores del sector, con el objetivo de definir la vía que deberán seguir la industria, la academia y el gobierno para convertir al sector en una industria insignia del país, que derrame ventajas tecnológicas y metodológicas, establezca alianzas estratégicas, impulse la formación de talento y cree oportunidades de alto valor agregado.

Los mapas de ruta (MR) de un sector industrial no sólo deben presentar una visión estática del mismo, sino que deben acompañar su maduración en el tiempo. En este documento se presentan los resultados de un primer ejercicio que establece un plan integral dinámico de largo plazo, que recoge las apreciaciones de los líderes del sector para construir colectivamente su futuro y define un proyecto de gran alcance. Así, un MR es un proceso de mejora continua, en evaluación constante, que requiere la confluencia de todos los actores que agreguen valor. Es, en ese sentido, un documento que requiere actualización y adecuación permanentes; un punto de partida para el desarrollo del sector.

Este documento está dividido en cuatro secciones principales que incluyen un marco de referencia del sector solar a nivel nacional e internacional, en el que se describen la situación actual y las perspectivas en los ámbitos de tecnologías, recursos humanos, mercado y políticas públicas; un apartado que describe los principales impulsores identificados para la ISM —mercado, suministro, legislación, mano de obra, I+D, calidad y cabildeo—, que serán una pieza clave para el desarrollo del sector energético durante los próximos años; una descripción de la metodología para la elaboración del MR y los resultados obtenidos para la industria solar fototérmica y fotovoltaica; finalmente, una versión preliminar de la matriz de capacidades, cuyo principal objetivo será verificar la alineación de la industria —como organismos independientes— a los objetivos planteados para el desarrollo de la industria solar y la situación que ocupa u ocupará a través del inventario de sus competencias, y como éstas se vinculan con los objetivos estratégicos propios de cada empresa.

El esfuerzo conjunto de la industria, la academia y los tres niveles de gobierno permitirá la creación de un mercado solar sólido y una industria solar próspera en México.

**CAPÍTULO 1**



# LA INDUSTRIAL SOLAR EN EL MUNDO

A nivel mundial, el aprovechamiento de las energías renovables ha crecido de manera importante en los últimos años. La volatilidad de los precios de los combustibles convencionales, la lucha contra el cambio climático y la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio son algunos de los factores que han impulsado este crecimiento. Se estima que en 2015 se alcanzó una capacidad instalada para la generación de electricidad a partir de energías renovables cercana a los 1,849 GW a nivel mundial. Por su parte, las inversiones en este sector también registran una tendencia al alza; en 2015 se invirtieron alrededor de 285,000 millones de dólares para mantener el crecimiento en la capacidad de generación de electricidad a partir de energías renovables (REN21, 2016).

En este contexto, la energía solar ha jugado un papel cada vez más relevante: su capacidad instalada es la tercera más importante dentro de las energías renovables para la generación de potencia eléctrica, con 227 GW —por debajo de la hidroeléctrica, que cuenta con muchos años de desarrollo, y la energía eólica, que ha registrado un crecimiento sostenido desde la década de 1990. En el componente de generación de calor, la energía solar cuenta con una capacidad de 435 GW térmicos. Durante 2015, las inversiones en tecnología solar para la generación de electricidad y calor, superaron a las de energía eólica y solamente se encuentran por debajo de la energía hidroeléctrica —que presenta costos de capital elevados—.

Como primer paso para la elaboración del MR de la ISM, en este capítulo se presenta un panorama general de la industria solar fototérmica y fotovoltaica a nivel internacional, así como de las tendencias que se identifican a nivel global; se analizan puntos clave de las diferentes tecnologías disponibles, para posteriormente identificar las principales tendencias de despliegue de dichas tecnologías en el mercado global. Finalmente, se aborda la evolución de los costos y los flujos de inversión, así como las capacidades de manufactura de tecnologías solares en las principales economías del mundo.

## 1.1 TECNOLOGÍA SOLAR A NIVEL MUNDIAL

La Tierra recibe del sol una cantidad enorme de energía: con la energía que se recibe del sol durante un solo día se podría cubrir la demanda energética mundial actual por más de 20 años (GENI, 2011).

Si bien la luz es el principal beneficio que obtenemos del sol, la energía radiante enviada al planeta puede ser transformada en calor o electricidad. La energía solar transformada en calor puede ser utilizada para el calentamiento y evaporación de agua, el secado de materia orgánica y el acondicionamiento de espacios; el calor también puede transformarse en trabajo mecánico y electricidad, puede propiciar o facilitar varias transformaciones físicas y químicas, y tiene el potencial de ser utilizado en procesos industriales. Por su parte, la generación de electricidad a partir de energía solar amplía los horizontes de consumo, ya que esa energía puede ser empleada prácticamente para cualquier uso.

### 1.1.1 *Sistemas Fotovoltaicos*

En las últimas décadas, las tecnologías fotovoltaicas han experimentado un enorme avance tanto a nivel científico como tecnológico. La eficiencia de los diferentes tipos de celdas se ha incrementado cinco veces y, desde el punto de vista de la innovación, actualmente se cuenta con tres generaciones de celdas desarrolladas (gráfica 1). Los costos y la cantidad de energía necesaria para la fabricación de paneles fotovoltaicos se han reducido en tal medida que la inversión se puede recuperar durante los dos primeros años de uso, mientras que la confiabilidad contra fallas y condiciones climáticas adversas otorga garantías que exceden los veinte años de vida útil.

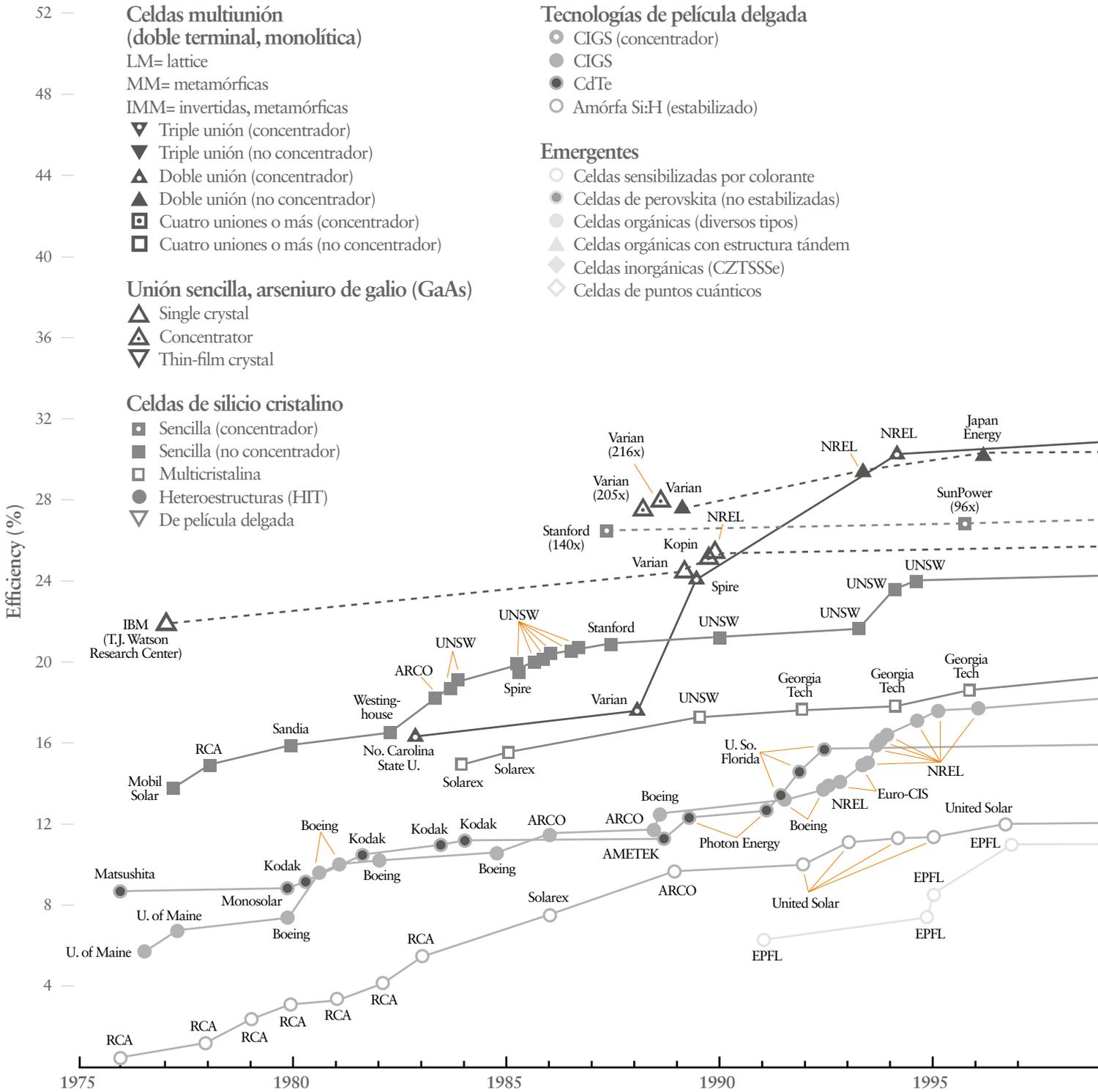
Así, los costos de la electricidad generada a partir de estos sistemas se han reducido de manera acelerada. Hace décadas, la tecnología fotovoltaica sólo era viable para energizar satélites de telecomunicación; hoy en día, los mercados eléctricos adquieren grandes bloques de energía a través de subastas, en las que los precios ofertados por fuentes renovables como la eólica y la solar resultan ser menores a

los precios de las fuentes convencionales. Las instalaciones actuales van de 3 kW para usos domésticos conectados a la red, hasta 450 MW para plantas abastecedoras a las redes eléctricas de transmisión.

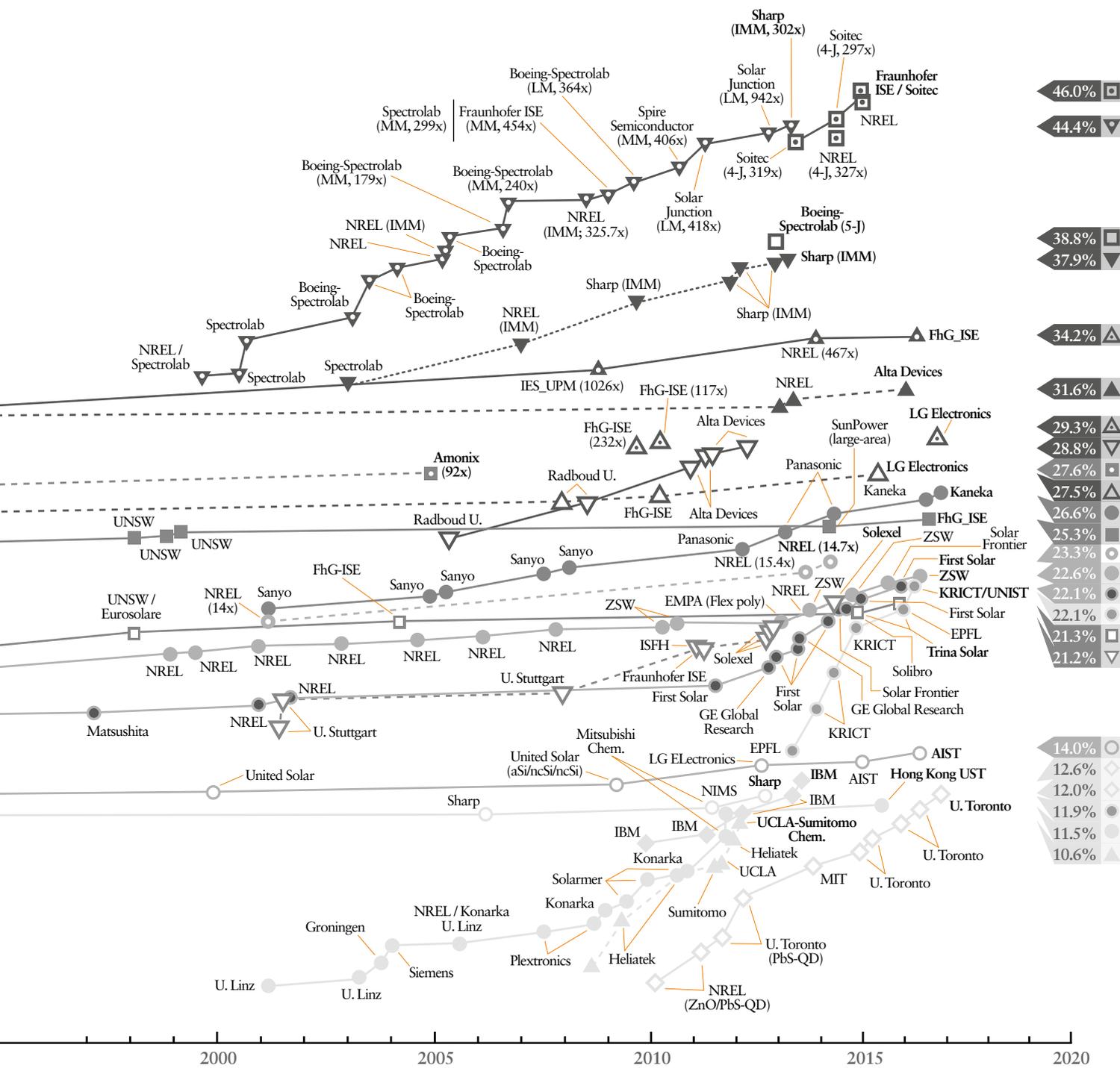
La energía solar fotovoltaica es un área tecnológica que ha creado un mercado, pero que sigue en un desarrollo acelerado para mejorar su eficiencia y disminuir sus costos. Actualmente, las celdas de silicio cristalino dominan el mercado fotovoltaico, con una participación de 85% de las tecnologías que lo conforman. Se espera que este material continúe como líder en el desarrollo de tecnologías fotovoltaicas por lo menos durante la siguiente década (MIT, 2016). Las celdas de silicio monocristalinas muestran eficiencias entre 14% y 24.7%, mientras que las celdas de silicio multicristalino van de 12% a 20.3% en condiciones normales —la eficiencia de las celdas cristalinas de silicio puede disminuir con el aumento de la temperatura—.

Debido a su costo, las tecnologías de silicio actuales podrían utilizarse en instalaciones en escalas de GW sin avances tecnológicos considerables, aunque todavía es posible incorporar mejoras en cuanto a su eficiencia.

# GRÁFICA 1. EVOLUCIÓN EN LA EFICIENCIA DE LAS CELDAS SOLARES



Fuente: National Renewable Energy Laboratory.



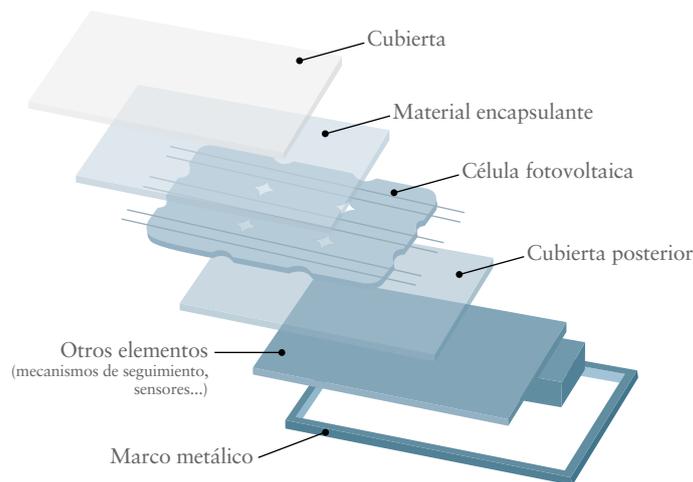
Actualmente existen celdas solares fabricadas con películas delgadas de materiales semiconductores colocados en capas sobre un soporte de bajo costo. Las categorías principales de películas delgadas son: amorfas (a-Si), con eficiencias desde 4% hasta 11.1%; películas delgadas de silicio multiunión (a-Si/ $\mu$ c-Si), con eficiencias de hasta 40%; celdas de telurio de cadmio (CdTe), con eficiencias de 16.5%, y celdas de cobre-indio-(di) selenio (CIS) y cobre-indio-galio-di(selenio) (CIGS), con eficiencias de 7% a 19.5%.

Desde hace varios años se desarrollan celdas solares con materiales orgánicos, que se agrupan en celdas completamente orgánicas y celdas solares híbridas sensibilizadas con tintes. Sin embargo, no se ha probado si este tipo de celdas puede contribuir en grandes sistemas eléctricos y, junto con las películas delgadas avanzadas, son parte de las nuevas tecnologías que se han desarrollado recientemente.

Nuevas investigaciones apuntan a la posibilidad de fabricación de celdas con eficiencias significativamente más altas. Una de las propuestas consiste en apilar materiales de distinto grosor en una multiunión (tándem o sándwich), por ejemplo, utilizando cristales semiconductores de medidas nanométricas. Utilizando esta técnica podrían alcanzarse eficiencias de más de 40% a costos relativamente bajos, aunque estos resultados no se han alcanzado aún a nivel laboratorio (IEA, 2011).

Los módulos fotovoltaicos (figura 1) son un conjunto de celdas interconectadas entre sí con la capacidad de entregar un amplio rango de potencias que puede llegar hasta los cientos de Watts. Un módulo fotovoltaico de silicio común consta de 60 a 96 celdas solares individuales de 15 centímetros cuadrados (cm<sup>2</sup>), cada una con capacidad de producir de 4 a 5 Watts en hora pico. Las dimensiones típicas de los módulos fotovoltaicos comerciales son de 1 metro (m) por 1.5 m por 4 centímetros (cm), con capacidad para generar una potencia pico de 260 a 320 Watts. Actualmente existe la posibilidad de incrementar la eficiencia en los módulos comerciales y de reducir el costo y la complejidad de su fabricación, así como la cantidad de silicio necesaria para generar 1 Watt y la dependencia de plata para la metalización de los contactos (MIT, 2016).

**FIGURA 1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO**



*Fuente: Ecosistemas del Sureste C.B.*

La CFV consiste en enfocar la radiación solar en celdas pequeñas y de alta eficiencia, mediante la utilización de espejos, lentes o una combinación de ambos tipos de dispositivos. Las celdas que constituyen los módulos de CFV generalmente están fabricadas de varias capas, cada una de las cuales captura longitudes de onda específicas del espectro de luz solar. Aunque el costo de las celdas de CFV es mayor, éste se podría compensar con las altas eficiencias —más de 38% para las celdas y 25% en los módulos— que presentan y con el menor costo de las superficies reflejantes.

Los sistemas fotovoltaicos consisten en la conexión eléctrica de varios módulos en configuraciones serie-paralelo, y pueden incorporar acumuladores de energía, inversores, medidores bidireccionales, líneas de transmisión, cuadro eléctrico, equipo de medición, fusibles e interruptores. Estos sistemas pueden conectarse a la red eléctrica o utilizarse de forma aislada. En los sistemas conectados a la red, los inversores y transformadores convierten la corriente directa de bajo voltaje de salida en corriente alterna de alto voltaje que es enviada a la red eléctrica. Los sistemas aislados utilizan controles de carga y baterías para almacenar energía durante el día y suministrarla cuando hay más demanda por la noche.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser usados en un amplio rango de aplicaciones, entre las que se encuentran sistemas de pequeña escala en el sector residencial, sistemas de mediana escala en el sector comercial, sistemas de gran escala en el sector de las compañías de electricidad, y aplicaciones aisladas de distintas capacidades.

### 1.1.2 *Sistemas fototérmicos*

El proceso para capturar el calor recibido del sol es relativamente sencillo, y puede completarse con varios dispositivos —estacionarios o con seguimiento al sol, y con concentración o sin ella—. La radiación solar calienta un receptor y la energía térmica se transfiere a un fluido que lo transporta a la aplicación, ya sea para calentar directamente algún proceso productivo o indirectamente para enfriar un espacio o fluido de trabajo.

Actualmente, los sistemas fototérmicos se utilizan principalmente para calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios en el sector residencial, pero también pueden emplearse para proporcionar calor en procesos industriales. El calor de proceso puede subdividirse en dos grandes ramas: secadores y colectores solares.

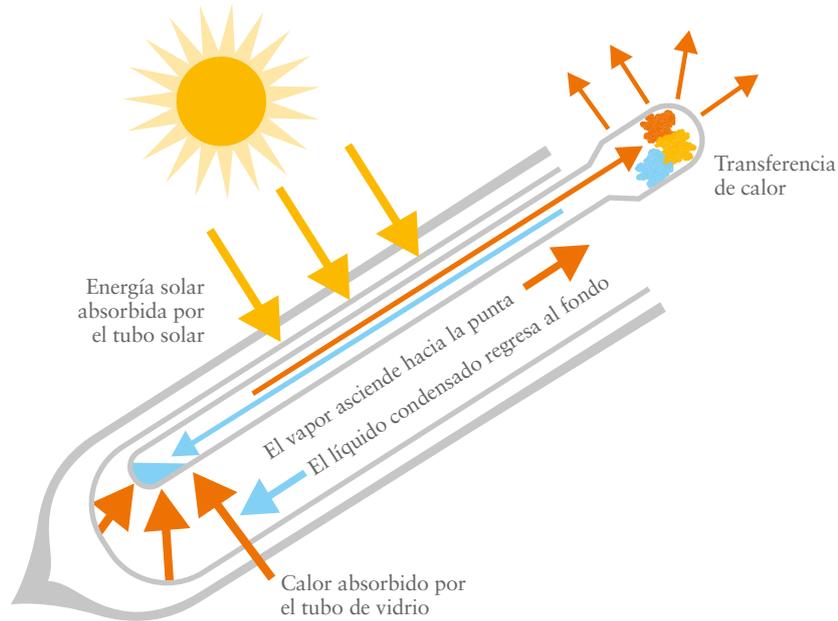
Los usos de las tecnologías de calor solar son similares entre los sectores industrial y residencial para bajas temperaturas (<150°C). Para temperaturas altas (>150°C) es necesario utilizar colectores más avanzados o concentración solar, para la que pueden emplearse dos tipos de concentradores solares: los dispositivos lineales (como cilindros parabólicos y reflectores Fresnel lineales), los cuales siguen al sol en un eje, y los dispositivos de punto de foco (como antenas parabólicas y torres solares), que siguen al sol en dos ejes (IEA, 2011).

Los colectores planos comunes entregan calor a temperaturas hasta 80°C y presentan eficiencias de hasta 80% como máximo; utilizan agua como FTC —complementado muchas veces con glicol para prevenir congelamientos—. En tanto, los colectores de aire utilizan al aire como FTC. En la parte superior de rango de temperatura, los colectores de tubos evacuados (figura 2) pueden proporcionar temperaturas de hasta 170°C.

El caso más sencillo de un concentrador solar es el CPC, el cual refleja la luz solar directa en un tubo absorbedor y puede alcanzar hasta 160°C sin necesidad de mover su posición respecto a la incidencia de la radiación solar. Otros ejemplos de concentradores solares son las antenas parabólicas, los concentradores cilíndricos parabólicos y los colectores lineales Fresnel que pueden alcanzar temperaturas por encima de los 400°C con la ayuda de sistemas de seguimiento en un solo eje para captar la radiación solar.

Los sistemas de refrigeración solar más comunes son los de enfriamiento por absorción, en los que la energía solar es usada para regenerar el fluido absorbente, el cual contiene el refrigerante después que se ha evaporado. La mayoría de los enfriadores térmicos en la industria tienen capacidades de refrigeración mayores a los 100 kW y requieren temperaturas superiores a los 100 °C para operar (IRENA, 2015).

FIGURA 2. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN COLECTOR DE TUBO DE CALOR EVACUADO



Fuente: International Energy Agency.

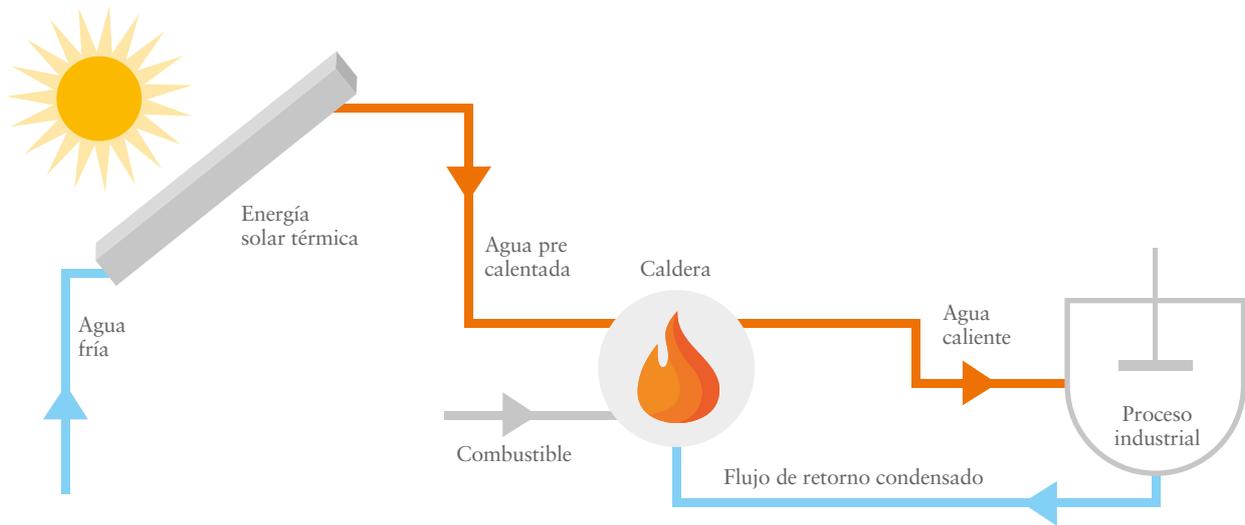
### 1.1.2.1 Calor solar para procesos industriales

Los sistemas existentes de calentamiento para procesos industriales están basados en la generación de vapor o agua caliente mediante una caldera que generalmente utiliza combustibles fósiles como petróleo, gas, carbón o electricidad generada de distintas fuentes. La figura 3 muestra el principio de suministro de calor solar térmico para el calentamiento de agua de alimentación dirigida a una caldera.

La integración de los sistemas solares térmicos en calor para procesos industriales puede completarse a nivel de proceso (operación unitaria) o a nivel de suministro (redes de calentamiento central). En general, a nivel de proceso, las temperaturas son más bajas, lo que permite una mayor eficiencia solar térmica; sin embargo, la implementación a nivel de suministro central es más robusta en relación con los cambios en la demanda y el diseño del proceso.

El almacenamiento térmico es un componente importante en el aprovechamiento del calor solar. Esta tecnología requiere compensar la variabilidad del recurso solar, así como incrementar los factores de capacidad de los sistemas solares. Existen varios métodos para almacenar el calor obtenido del sol: el calor sensible, que actúa modificando la temperatura de un medio; el calor latente, que cambia la fase de un medio, de sólido a líquido y de líquido a gas cuando el calor se almacena y en dirección opuesta cuando el calor es extraído; el almacenamiento termoquímico, que emplea parte de la energía captada durante las horas de sol, para llevar a cabo una reacción endotérmica (carga), cuyos productos son almacenados de forma separada, para posteriormente, durante la noche o cuando el recurso solar es escaso, recombinarlos mediante una reacción exotérmica (descarga) que liberará la energía almacenada, misma que se puede utilizar para producir electricidad. Algunos de los materiales que se utilizan en el almacenamiento termoquímico permiten guardar el calor por periodos largos y, debido a su alta densidad energética, reducen los volúmenes de almacenamiento.

**FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRECALENTAMIENTO DE AGUA**



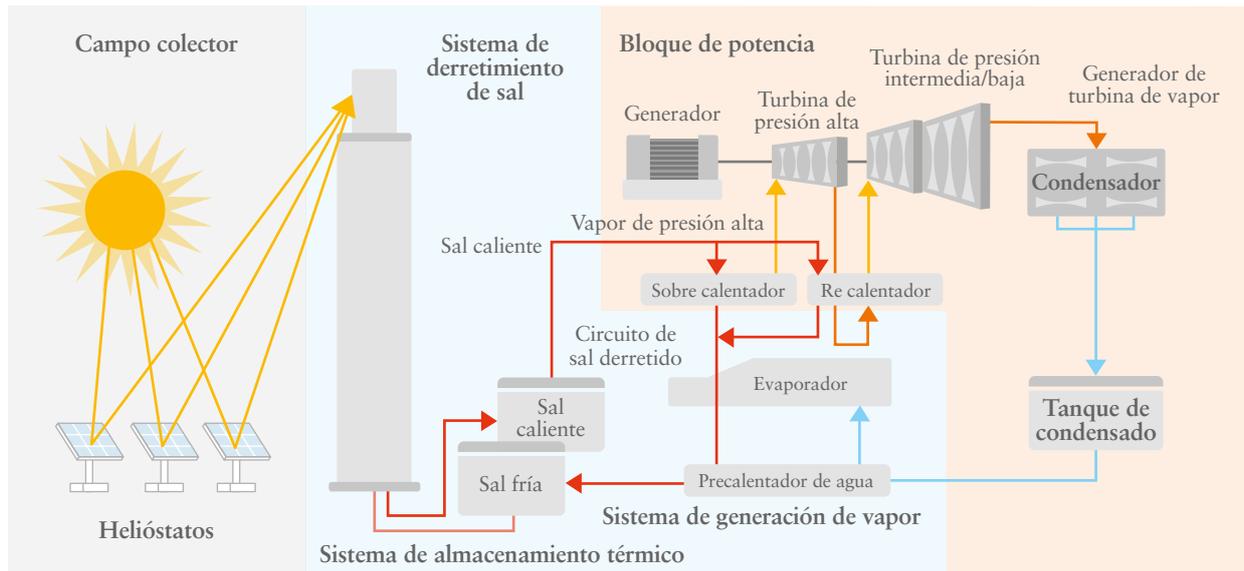
Fuente: International Renewable Energy Agency.

### 1.1.2.2 Calor solar para la generación de electricidad

Desde hace aproximadamente 40 años, se ha generado electricidad a partir de energía solar térmica, mediante sistemas de CSP. Las plantas que se encuentran actualmente en operación, con concentradores cilíndrico-parabólicos, utilizan un aceite sintético como FTC desde los tubos colectores hacia los intercambiadores de calor donde el agua es precalentada, evaporada y sobrecalentada. El vapor sobrecalentado hace girar una turbina que mueve un generador para producir electricidad. Después de ser enfriada y condensada, el agua regresa a los intercambiadores de calor. Las PTC representan la tecnología solar térmica más madura que existe hoy en día. Algunas opciones de FTC que pueden alcanzar mayores temperaturas que los aceites sintéticos son agua/vapor de forma directa, nanofluidos, gas presurizado y distintos tipos de sales.

Los sistemas de torre solar consisten en un arreglo de heliostatos o espejos dirigidos a un punto focal en común en la parte alta de una torre (figura 4). Los espejos deben estar equipados con sistemas de seguimiento solar de dos ejes para poder dirigir la luz solar directa al colector solar en la torre, cuya posición es siempre fija. La electricidad se produce mediante la generación de vapor, de manera directa o indirecta. La generación directa de vapor ocurre dentro de la torre, mientras que la generación indirecta involucra un FTC como sales fundidas. El diseño de receptor solar centralizado permite que el fluido de trabajo alcance mayores temperaturas, lo que incrementa la eficiencia del sistema. Las torres solares que utilizan sal como FTC pueden operar en un rango de temperaturas de entre 250°C y 565°C, dependiendo de las propiedades del FTC (MIT, 2016). Aunque las torres solares representan una tecnología menos madura en comparación con la de cilindros parabólicos, prometen mayores eficiencias con probablemente menores costos, utilizando o no almacenamiento térmico.

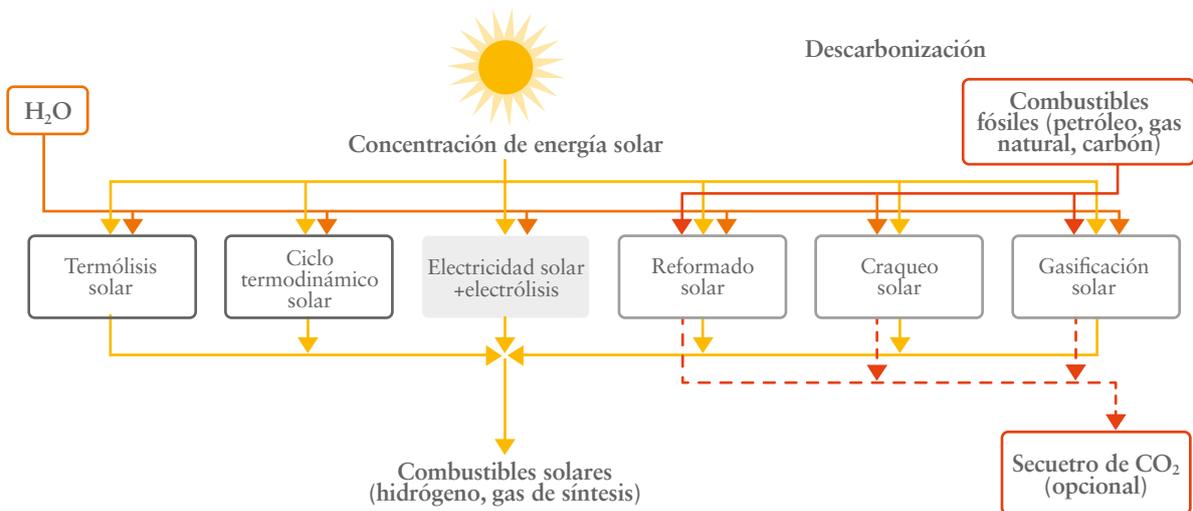
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN DE LA OPERACIÓN DE UNA TORRE SOLAR QUE UTILIZA SAL COMO FLUIDO DE TRABAJO



Fuente: International Energy Agency.

También es posible obtener combustibles solares que pueden existir en varias formas, principalmente líquidas y gaseosas. Los combustibles solares se producen generalmente de hidrógeno, el cual puede utilizarse de forma directa o para procesar otros combustibles, sólo o en combinación con otros compuestos como el metano (IEA, 2011). Las tecnologías de concentración solar permiten producir hidrógeno a partir de agua pura o de materia orgánica, siguiendo varias rutas como se muestra en la figura 5, donde las torres solares aparecen con el mayor potencial.

FIGURA 5. RUTAS PARA LA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE POTENCIALES DE CONCENTRACIÓN SOLAR



Fuente: International Energy Agency.

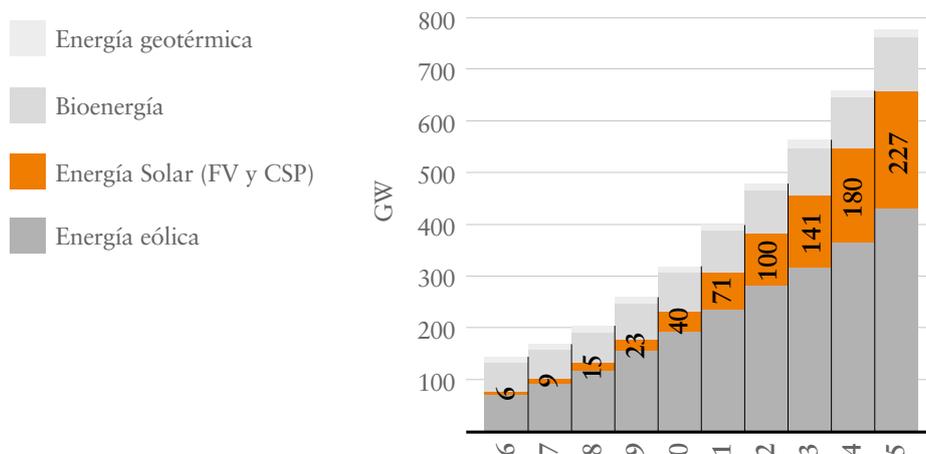
## 1.2 DESPLIEGUE DE LA TECNOLOGÍA SOLAR A NIVEL MUNDIAL

A nivel global, la participación de las energías renovables representó 19.2% del consumo final de energía durante 2014 (REN21, 2016). Las fuentes renovables que históricamente han realizado los mayores aportes al consumo de energía han sido la biomasa tradicional (leña) y la hidroelectricidad; sin embargo, los problemas de emisiones y salud asociados al consumo de leña, así como los cuestionamientos socio-ambientales relativos a la construcción de grandes presas, han desacelerado el crecimiento de estas formas de energía, dando paso a nuevas tecnologías de aprovechamiento de las fuentes renovables, como la solar y la eólica.

### 1.2.1 Generación de electricidad

Al cierre de 2015, la capacidad total instalada mundial para generación eléctrica fue de poco más de 6,000 GW, de los cuales casi una tercera parte (1,985 GW) provino de energías renovables. Después de la hidroelectricidad y la eóloelectricidad, la energía solar cuenta con la mayor capacidad de generación, con 227 GW; la mayor parte de esta capacidad (222 GW) se concentra en sistemas fotovoltaicos —los 5 GW restantes corresponden a sistemas CSP—. Esta capacidad representa el 14.1% de la capacidad instalada de generación eléctrica a partir de energías renovables a nivel global (IRENA, 2016).

GRÁFICA 2. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE ALGUNAS ENERGÍAS RENOVABLES\*



\*Se excluye la capacidad de generación por centrales hidroeléctricas, la cual abarca aproximadamente 50% de la capacidad total y entre 2006 y 2015 registró una TMCA de 3.4%.

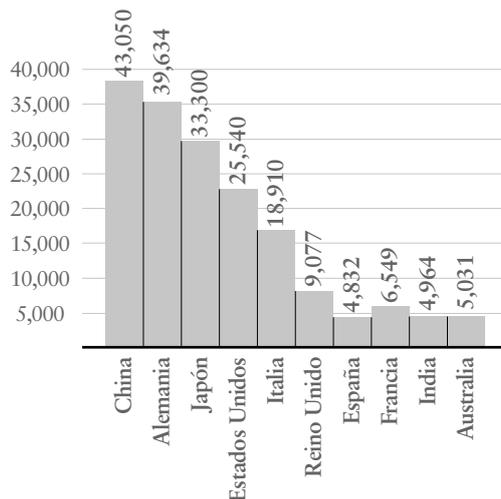
Fuente: Elaborado por GIZ con información de International Renewable Energy Agency.

Este crecimiento en la capacidad de generación a partir de centrales solares ha sido el más dinámico entre las energías renovables en los últimos 10 años. Las tasas de crecimiento anual en centrales solares, fotovoltaicas y de concentración, observaron valores de 49.2 y 30.9% en el periodo 2006-2015 respectivamente, las más altas a nivel mundial —tan sólo en 2015 se instalaron 48 GW de nueva capacidad—.

A pesar del ritmo de crecimiento en las centrales CSP, la capacidad instalada continúa siendo baja en relación con las centrales solares fotovoltaicas. La tecnología CSP ha experimentado reducción de costos en los últimos años y se prevé que esta tendencia continúe en los próximos años, lo que traerá una expansión en el uso de esta tecnología. Durante 2015 se registraron nuevas inversiones en esta tecnología en países como Marruecos (160 MW), Sudáfrica (150 MW) y Estados Unidos (110 MW), con lo que la capacidad global total creció 10% para alcanzar aproximadamente 4.8 GW.

Los países con mayor capacidad solar fotovoltaica instalada son China, Alemania, Japón, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, España, Francia, India y Australia; juntos, estos países concentran 83% de la capacidad solar fotovoltaica global.

**GRÁFICA 3. CAPACIDAD INSTALADA SOLAR FOTOVOLTAICA AL CIERRE DE 2015 (MW)**

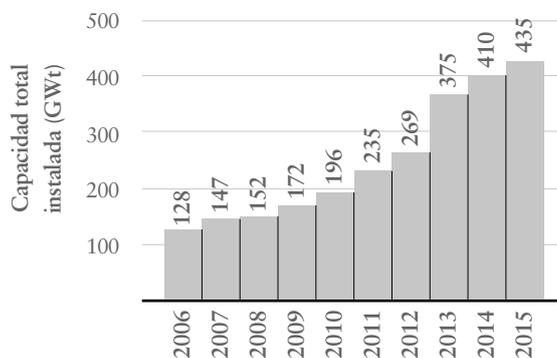


Fuente: Elaborado por GIZ con información de International Renewable Energy Agency.

### 1.2.2 Generación de calor

En contraste con la energía solar fotovoltaica, históricamente, la energía solar fototérmica ha tenido una mayor participación en el mercado. Actualmente se cuenta con una capacidad instalada de 435 gigawatts térmicos (GWt) de CSA, que es superior a la capacidad instalada fotovoltaica: en 2014, la energía solar térmica aportó 335 TWh térmicos, en contraste con la energía solar fotovoltaica, que contribuyó con 190 TWh de electricidad. La tasa de crecimiento de calentadores solares ha ido al alza de manera sostenida en los últimos años, a un ritmo de 14.6% anual en el periodo 2006-2015; sin embargo, se espera que en el corto plazo sea superada por la energía solar fotovoltaica, debido a los altos índices de crecimiento que ha experimentado esta tecnología recientemente.

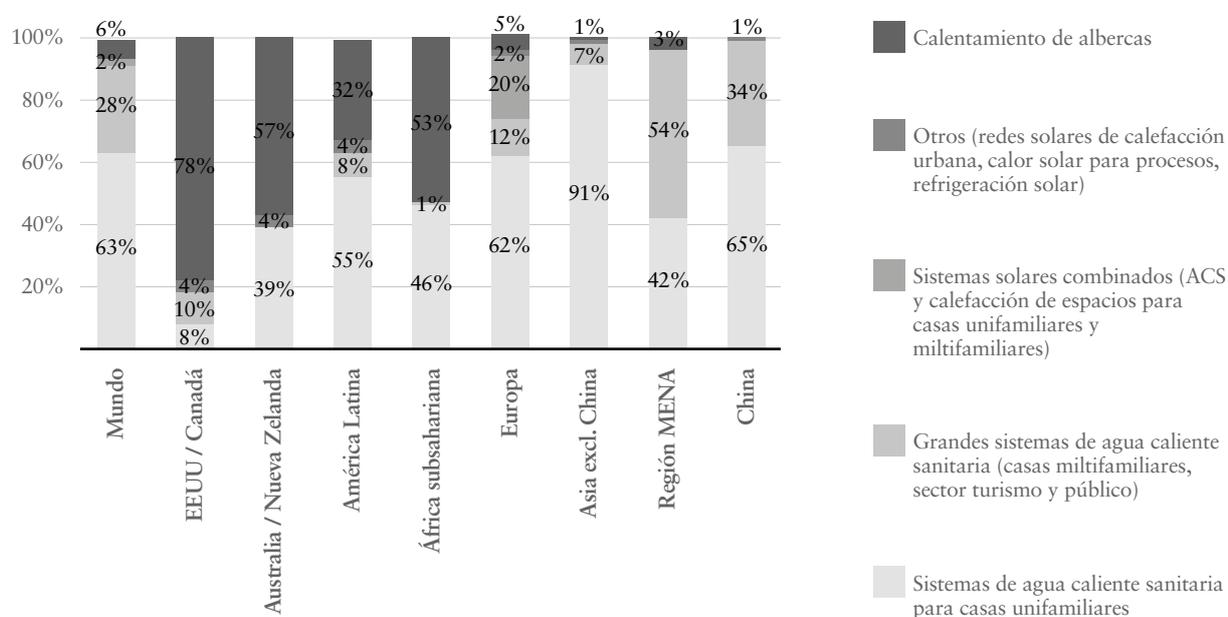
**GRÁFICA 4. CAPACIDAD INSTALADA DE CSA A NIVEL MUNDIAL (GWt)**



Fuente: Elaborado por GIZ con información de Solar Heating and Cooling Program, IEA.

A la fecha, el mayor número de CSA se concentra en el sector residencial. Se estima que a finales de 2014 el número de sistemas solares térmicos de agua en operación era de aproximadamente 101 millones; de acuerdo con su uso final, 63% de la capacidad instalada correspondía a sistemas de pequeña escala instalados en hogares, 28% a sistemas con una escala un tanto mayor instalados principalmente en escuelas, hoteles y departamentos, 6% de estos sistemas era utilizado para el calentamiento de piscinas y, por último, los sistemas combinados (agua caliente doméstica y calefacción de espacios) representaron 2% de la capacidad instalada —el 1% restante tuvo aplicaciones como redes de calefacción urbana, procesos industriales y aplicaciones térmicas de enfriamiento solar—.

**GRÁFICA 5. DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS POR APLICACIÓN (2014)**



Fuente: Solar Heating and Cooling Program, IEA.

## 1.3 COSTOS DE LA TECNOLOGÍA

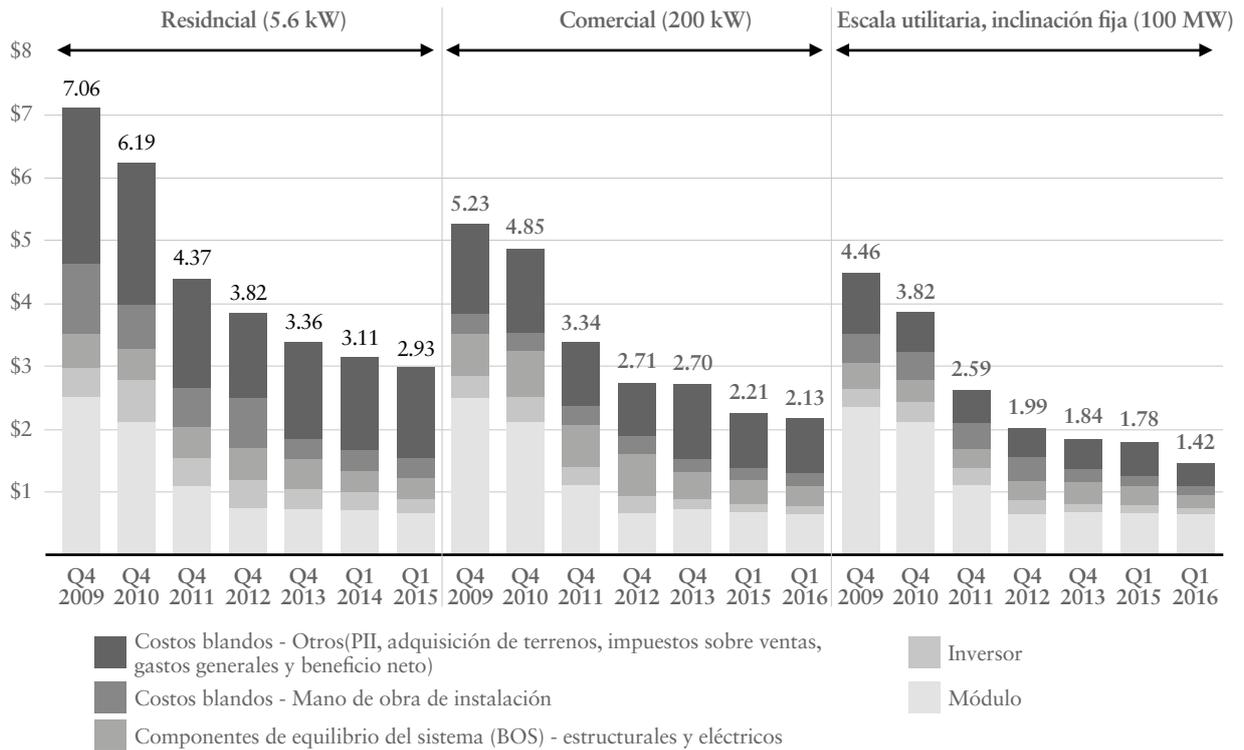
### 1.3.1 Solar fotovoltaica

Uno de los factores que han propiciado el crecimiento de las inversiones fotovoltaicas ha sido el descenso de los costos de esta tecnología. El costo de los módulos fotovoltaicos se ha reducido a la mitad en los últimos cinco años, incluyendo diferentes tecnologías, como los módulos de silicio cristalino y los de películas delgadas.

En diferentes sectores, cada uno con sus respectivas capacidades, se han observado disminuciones importantes en los costos de generación de electricidad. Actualmente, los menores costos se registran en el sector eléctrico con proyectos a gran escala, con capacidades instaladas superiores a los 100 MW; le sigue el sector comercial con sistemas instalados de capacidades de alrededor de 200 kW y por el último el sector residencial o de generación distribuida<sup>1</sup>, con escalas más pequeñas (sistemas de 5.6 kW). Esta diferencia se debe principalmente a las economías de escala en cada una de las aplicaciones de esta tecnología.

<sup>1</sup> La generación distribuida es la producción de energía que se conecta a la red de distribución en baja tensión, generada por motores, miniturbinas y microturbinas, pilas de combustible y energías renovables, como la solar fotovoltaica.

**GRÁFICA 6. DISMINUCIÓN EN LOS COSTOS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA\***



\*Los datos presentados corresponden a la situación observada en Estados Unidos  
Fuente: NREL

Por otro lado, la brecha en los costos de capital (capex) entre proyectos solares fotovoltaicos a gran escala y eólicos en tierra —que hasta hace unos años era muy grande— se ha cerrado en los últimos años, hasta alcanzar niveles prácticamente similares entre ambas tecnologías a nivel global en 2015. Esta reducción en los costos ha permitido que la energía solar fotovoltaica a gran escala compita con instalaciones eólicas, que hasta algunos años eran la tecnología renovable con mayor crecimiento en el mundo.

**GRÁFICA 7. EVOLUCIÓN EN EL CAPEX DE LAS TECNOLOGÍAS FOTOVOLTAICA A GRAN ESCALA Y EÓLICA (MILLONES DE USD/MW)**



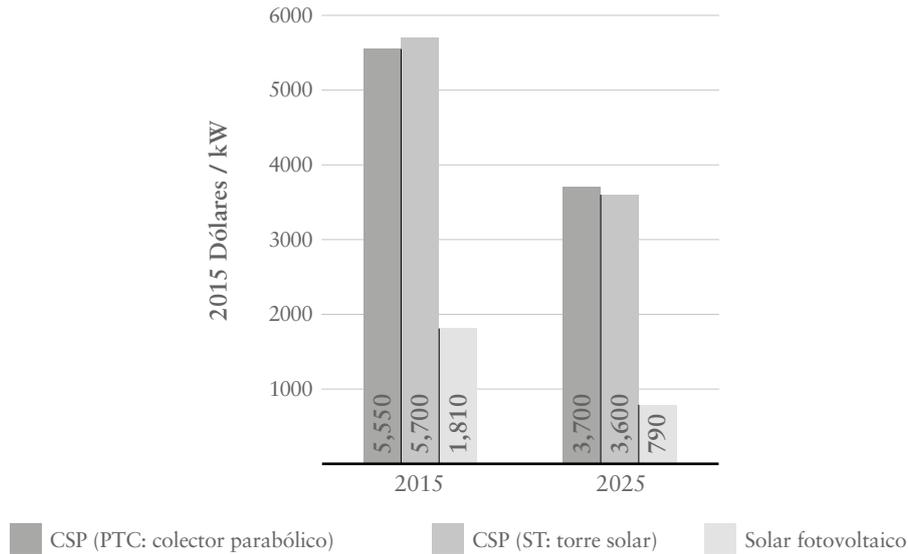
Fuente: Climatescope 2016.

De acuerdo con la información reportada por Bloomberg New Energy Finance (BNEF) en los tres primeros trimestres de 2016, los costos de capital disminuyeron aún más para proyectos de energía eólica en tierra y solar fotovoltaica en 58 países no miembros de la OCDE. La energía solar alcanzó un costo de 1.65 millones de dólares por MW, un costo más competitivo que el de la energía eólica (1.66 millones de dólares por MW).

### 1.3.2 Solar fototérmica de concentración para generación de electricidad

La tecnología solar fototérmica de concentración para la generación de electricidad también ha registrado disminuciones en sus costos; sin embargo, estos costos aún se mantienen muy por encima de los de la tecnología fotovoltaica. Para los sistemas *parabolic trough collector* (PTC) y *solar tower* (ST) se registraron costos de instalación muy similares durante 2015: 5,550 y 5,700 dólares por kW, respectivamente. Se espera que en el mediano plazo, hacia el año 2025, estos costos disminuyan alrededor de 35%.

**GRÁFICA 8. COSTOS DE INVERSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CONCENTRACIÓN SOLAR (USD/KW)**



Fuente: Elaborado por GIZ con información de International Renewable Energy Agency.

### 1.3.3 Solar fototérmica para generación de calor

Los costos de los sistemas solares térmicos para el calentamiento de agua o generación de vapor son muy variados, dependiendo de la tecnología y de los materiales utilizados, así como de los costos de fabricación asociados al nivel de desarrollo de la industria local, mano de obra y la escala de los propios sistemas, en función del sector de aplicación —residencial, comercial, servicios e industria—.

En el caso de los sistemas de calentamiento solar de agua —ampliamente utilizados en el sector residencial y servicios—, los costos de inversión registrados en diferentes regiones varían en un rango muy amplio. En países desarrollados se observan costos más altos, en cierta medida asociados a estándares de calidad superiores y a las exigencias climáticas; en contraste, en países en desarrollo, los estándares de calidad suelen ser menos exigentes, los costos con más bajos.

**TABLA 1. COSTOS DE INVERSIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS EN DIFERENTES REGIONES**

Tipo de sistema	País/Región	Costos de inversión (USD/kW <sub>t</sub> )
Termosifón directo	Australia	1,100
	China	100 - 250
	India	130 - 180
	Sudáfrica	630 - 650
	Turquía	130
Termosifón indirecto	Estados Unidos	2,300
Bombeo con intercambio de calor directo	Estados Unidos	1,700
	Sudáfrica	760 - 820
Bombeo con intercambio de calor indirecto	Estados Unidos	2,300
	Europa Central	850 - 1,900
	Norte de Europa	1,600 - 2,400
Pasivos integrales de almacenamiento del colector	Estados Unidos	450 - 800
Sistemas combinados de agua caliente y calefacción	China	980 - 1,400
	Alemania	1,800

*Fuente: International Renewable Energy Agency.*

La escala de los sistemas solares para aplicaciones industriales es mayor comparada con la de los sistemas que se utilizan en el sector residencial. El costo de la tecnología depende de múltiples factores, entre los que se encuentran el rango de temperaturas a la cual desea elevarse el fluido de trabajo, la continuidad del proceso, el tamaño de la instalación y el nivel de irradiación solar. Durante 2015, los costos de instalación de sistemas solares térmicos se ubicaron entre 180 y 500 euros por metro cuadrado (EUR/m<sup>2</sup>), una ligera disminución con respecto a 2010, cuando los costos fueron de entre 250 y 500 EUR/m<sup>2</sup>. Se espera que esta tendencia continúe y que los costos sean 43% más en 2020 y 60% menores en 2050.

Para sistemas convencionales que utilizan colectores solares planos y de tubos evacuados, el costo de instalación oscila entre 250 y 1,000 euros por kilowatt térmico (EUR/kW<sub>t</sub>) en Europa, mientras que en países como Turquía, México y Sudáfrica el costo va de 200 a 300 EUR/kW<sub>t</sub>.

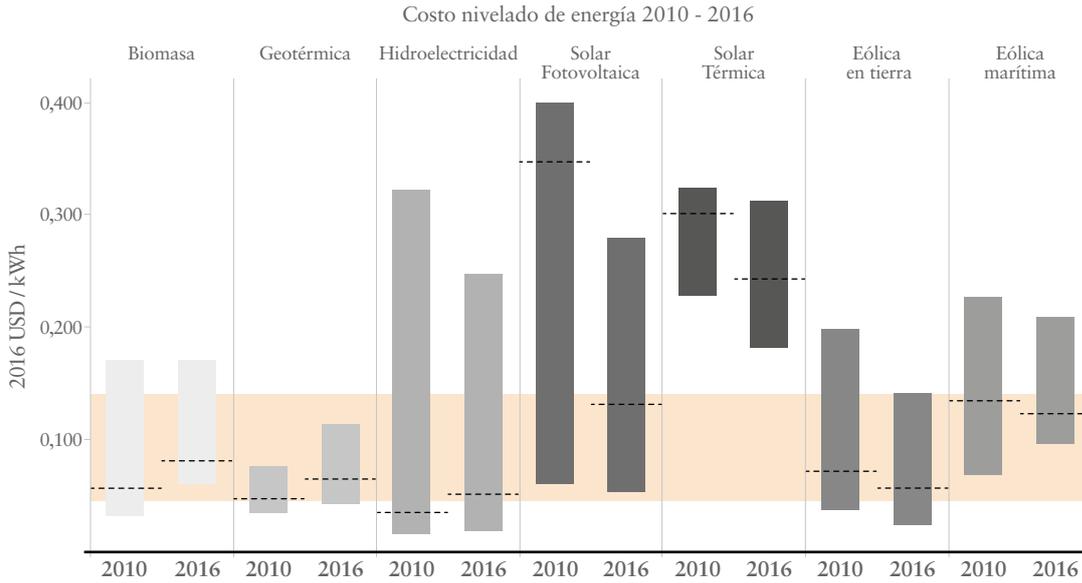
Al igual que la tecnología para la generación de electricidad, la tecnología de concentración solar es más costosa. Los sistemas con colectores de discos parabólicos tienen un costo de instalación de entre 400 y 1,800 USD/kW<sub>t</sub>; con colectores lineales el costo varía entre 600 y 2,000 USD/kW<sub>t</sub> y con colectores Fresnel oscila entre 1,200 y 1,800 USD/kW<sub>t</sub>.

## 1.4 COSTOS NIVELADOS DE ENERGÍA

Un indicador de la competitividad de las diferentes tecnologías durante su vida útil, es el costo nivelado —tanto de electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés) como de calor (LCOH, por sus siglas en inglés)—. El costo nivelado de una tecnología es la relación de los costos y la energía generada (electricidad o calor) durante su vida económica, los cuales son descontados a un año común utilizando una tasa de descuento que refleja el costo medio del capital.

En la gráfica 9 se puede observar la evolución de los costos nivelados de diferentes tecnologías renovables para generar electricidad a gran escala, en comparación con los rangos de costos nivelados de fuentes fósiles.

## GRÁFICA 9. COSTOS NIVELADOS DE ELECTRICIDAD 2010-2016



Nota: Costos en dólares estadounidenses a valor de 2016. El costo ponderado del capital es 7.5% para países de la OCDE y China, y 10% para el resto del mundo. Información preliminar para 2016.

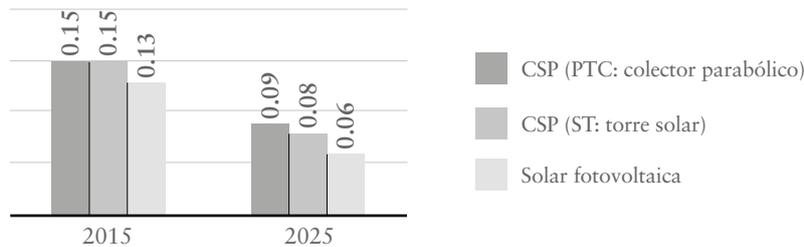
Nota: Todos los costos son en dólares de 2016. El costo promedio ponderado del capital es de 7.5% para la OCDE y China y de 10% para el resto del mundo. Datos preliminares para 2016.

Fuente: IRENA.

Los costos más bajos se presentan para la geotermia, biomasa, hidroeléctrica y eólica; sin embargo, el aprovechamiento de estas fuentes de energía está limitado a la ubicación geográfica del recurso, a la disponibilidad de líneas de transmisión ya existentes, y a condiciones ambientales, entre otros factores. La gran ventaja de la energía solar es su mayor distribución geográfica, que permite localizar nuevas centrales cercanas a las líneas de transmisión para hacer llegar grandes cantidades de energía a los consumidores finales.

La reducción acelerada de los costos nivelados de la energía solar fotovoltaica en los últimos años, la sitúa como una opción competitiva frente al rango de costos nivelados que reflejan las centrales eléctricas con base en energías fósiles. Se espera que en el mediano plazo los costos nivelados de las tecnologías solares —incluyendo la solar fotovoltaica y la solar de concentración para generación de potencia— disminuyan aún más, y compitan de manera más efectiva contra fuentes tradicionales de energía.

## GRÁFICA 10. LCOE DE LA TECNOLOGÍA SOLAR (USD/KWH)



Fuente: Elaborado por GIZ con información de International Renewable Energy Agency.

Los costos nivelados de generación de energía solar térmica son mucho menores en comparación con los de generación de electricidad, en cierta medida debido a la ventaja que representa generar la energía en el mismo lugar de consumo, a la madurez del mercado de estas tecnologías y a los costos de fabricación más bajos.

El rango de costos varía en diferentes mercados, debido a los costos locales de manufactura asociados, al grado de inversión en desarrollo tecnológico y a la disponibilidad del recurso solar.

**TABLA 2. LCOH A DIFERENTES ESCALAS (CENTAVOS DE €/KWH)**

Aplicación del sistema solar térmico	Rango de costos bajo	Rango de costos alto
Sistemas solares térmicos para calentamiento de agua (residencial, comercial, servicios)		
Calentadores solares de agua para albercas	~ 1	~ 2
Pequeños calentadores de agua termosifónicos (uso doméstico)	2 - 5	7 - 12
Pequeños sistemas de calentamiento de agua con bombeo (uso doméstico)	7 - 8	12 - 20
Grandes sistemas de calentamiento de agua y/o calefacción de espacios con bombeo	2 - 6	8 - 14
Pequeños sistemas combinados de agua caliente y calefacción		11 - 19
Sistemas solares térmicos para agua caliente y generación de vapor (procesos industriales)		
Calentadores solares de baja temperatura (colectores planos y tubos evacuados)	2.5	8
Sistemas solares de media temperatura (colectores de concentración)	6	15

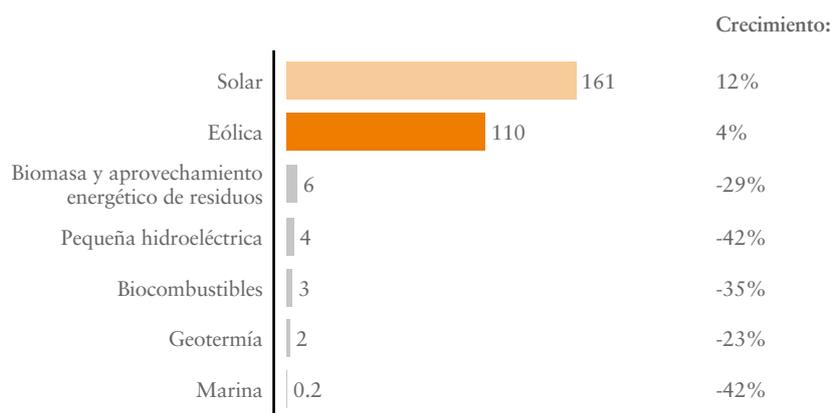
Fuente: IRENA

## 1.5 INVERSIÓN GLOBAL EN ENERGÍA SOLAR

A nivel global, el volumen de inversión en energías renovables ha ido en ascenso. En 2014 se invirtieron 273,000 millones de dólares, mientras que en 2015 se registraron nuevas inversiones por 285,900 millones de dólares; las energías solar fotovoltaica y eólica abarcaron prácticamente 90% del portafolio de inversión en centrales de generación eléctrica renovables —con 161,000 y 110,000 millones de dólares, respectivamente— en 2015.

Las inversiones en centrales fotovoltaicas son las que mayor ritmo de crecimiento registraron entre 2014 y 2015, con una tasa de 12% anual, mientras que las inversiones en parques eólicos crecieron 4% en el mismo periodo.

## GRÁFICA 11. NUEVA INVERSIÓN A NIVEL GLOBAL EN ENERGÍA RENOVABLES POR SECTOR EN 2015, Y CRECIMIENTO CON RESPECTO A 2014 (MILES DE MILLONES DE DÓLARES)



Nota: El nuevo volumen de inversión se ajusta a los fondos propios reinvertidos. Los valores totales incluyen estimaciones de acuerdos no revelados.

Fuente: Global Trends in Renewable Energy Investment 2016, Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2016.

La energía solar térmica es la fuente de aprovechamiento solar que aporta más a la matriz energética mundial. Actualmente, la capacidad instalada de calentadores solares supera a la capacidad de centrales solares fotovoltaicas, aunque se prevé que en pocos años esta relación podría invertirse.

### TABLA 3. PRINCIPALES INDICADORES DE ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL GLOBAL

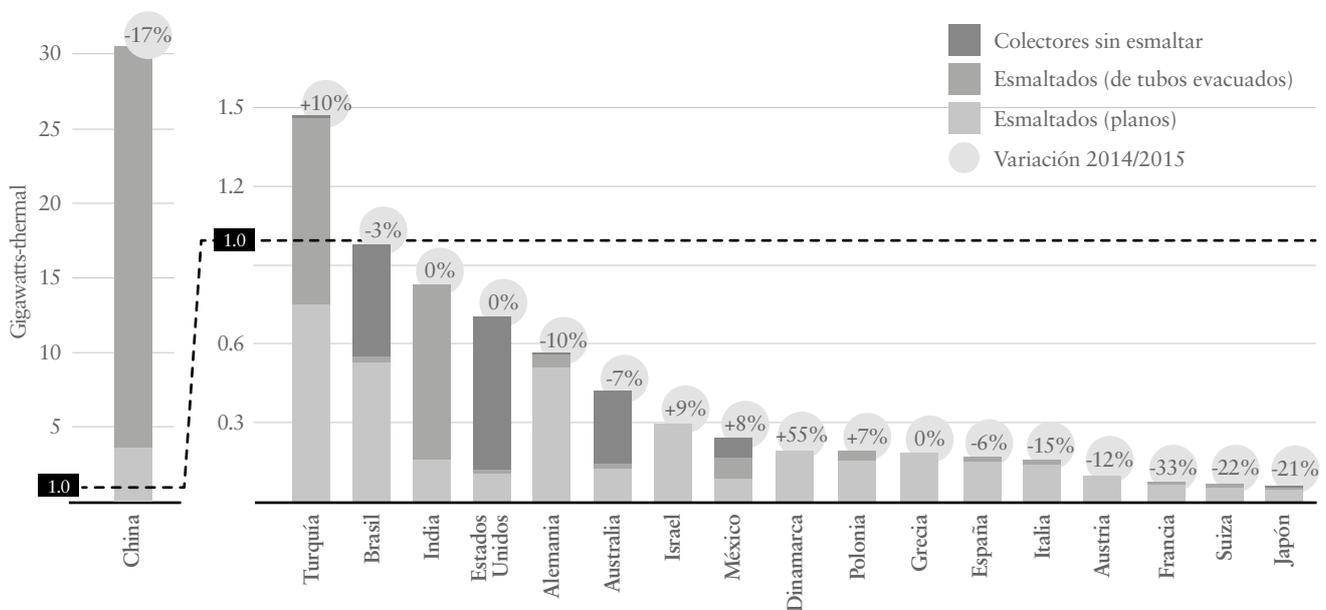
Inversión			
Nueva inversión (anual) en energías renovables y combustibles	miles de millones de USD	273	285.9
Electricidad			
Capacidad de energía renovable (total, sin incluir hidroeléctrica)	GW	665	785
Capacidad de energía renovable (total, incluyendo hidroeléctrica)	GW	1,701	1,849
Capacidad hidroeléctrica	GW	1,036	1,064
Capacidad bioenergía	GW	101	106
Generación bioenergía (anual)	TWh	429	464
Capacidad geotermia	GW	12.9	13.2
Capacidad solar FV	GW	177	227
Capacidad solar de concentración termoeléctrica	GW	4.3	4.8
Capacidad eólica	GW	370	433
Calor			
Capacidad calentamiento solar de agua	GWt	409	435
Transporte			
Producción de etanol (anual)	miles de millones de litros	94.5	98.3
Producción de biodiesel (anual)	miles de millones de litros	30.4	30.1

Fuente: Renewables 2016 Global Status Report, REN21.

A nivel mundial, se estima que en 2014 el volumen de negocios de la industria solar térmica alcanzó un valor de 21,000 millones de euros (24,000 millones de dólares).

La tecnología solar térmica es ampliamente utilizada en todas las regiones del mundo para proporcionar agua caliente, calentar y enfriar espacios, y proporcionar calor a temperaturas muy altas para procesos industriales. Si bien, en 2015, la capacidad global de los colectores solares térmicos con y sin acristalamiento mantuvo su tendencia de crecimiento, en algunas economías se observó una contracción del mercado. En 2015, los 18 mayores mercados se distribuyeron en todos los continentes y representaron alrededor de 94% del total de las adiciones mundiales que se registraron ese año. La capacidad instalada alcanzó un aproximado de 37.2 GWt (53.1 millones de metros cuadrados), 14% menos que los 43.4 GWt instalados por estos países en 2014.

**GRÁFICA 12. ADICIONES DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA, 18 PAÍSES QUE MAYOR CAPACIDAD AÑADIERON EN 2015**



Fuente: REN21.

La contracción en algunas economías se debió principalmente a la reducción de los mercados en China y Europa. A pesar de la tendencia general negativa, se observó un importante crecimiento del mercado en Dinamarca (55% más que en 2014), Turquía (10% más), Israel (9% más), México (8% más) y Polonia (7% más).

## 1.6 PERFIL DE MANUFACTURA DE TECNOLOGÍAS FOTOVOLTAICAS EN LAS PRINCIPALES ECONOMÍAS A NIVEL GLOBAL

### a) Fabricación de módulos y células fotovoltaicas

Las tecnologías de energía limpia se están expandiendo rápidamente en todo el mundo y cada vez contribuyen más a los sistemas energéticos a nivel global. La fabricación de estas tecnologías, incluyendo la extracción y procesamiento de materias primas, la producción de los subcomponentes requeridos y el ensamblado del producto final, se ha convertido en una tarea global.

Recientemente fue publicado un análisis comparativo (*benchmark*) de la fabricación global de tecnologías limpias, realizado por el Centro de Análisis de Fabricación de Energía Limpia (CEMAC), con el apoyo de la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable (EEER) del Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos.

Este análisis establece un marco común y nuevas metodologías para evaluar y comparar las cadenas de suministro de la manufactura de tecnología de energía limpia, alineado con la metodología de análisis de costos de fabricación estandarizada de CEMAC (CEMAC, 2017). En él se emplearon datos de mercado, manufactura y comercio de 2014, para analizar las tecnologías de turbina eólica, módulo fotovoltaico c-Si (silicio cristalino), chips de led y batería de Li-ion LDV.

Los impactos de la cadena de suministro de manufactura para estas cuatro tecnologías se evaluaron en términos de puntos de referencia comunes para 12 economías seleccionadas que constituyen los centros principales de fabricación de las cuatro tecnologías: Brasil, Canadá, China, Alemania, India, Japón, Malasia, México, Corea del Sur, República de China (Taiwán), Reino Unido y Estados Unidos.

## *Benchmark 1: fabricación de energía limpia*

### *Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino*

En 2014, la fabricación de energía solar fotovoltaica aportó un valor agregado total de 27,200 millones de dólares en todas las economías; de ellos, 12,500 millones de dólares correspondieron a valor agregado directo y 14,700 millones a valor agregado indirecto.

Por su parte, la fabricación de energía eólica aportó un valor agregado total de 32,500 millones de dólares en 2014, de los cuales 13,700 millones de dólares correspondieron a valor agregado directo y 18,800 millones a valor agregado indirecto.

El valor agregado directo es la cantidad que los fabricantes de energía limpia aportan al PIB nacional; esto incluye pagos a trabajadores de manufactura, ingresos de tipo de propiedad, tales como los beneficios obtenidos por los propietarios e inversores, e impuestos pagados sobre la producción, menos los subsidios del gobierno.

El valor agregado indirecto es conocido con frecuencia como efecto económico de la ondulación. Cuando los fabricantes de energía limpia fabrican productos, compran insumos como servicios contables y materias primas. Un fabricante de generadores, por ejemplo, puede comprar cables de cobre a un fabricante de alambre doméstico; este fabricante de alambre y su contribución al PIB serían incluidos en el efecto indirecto.

En 2014, China concentró casi 60% del valor agregado total de la energía eólica —19,100 de millones de dólares—; Alemania participó con 4,800 millones de dólares, mientras que Estados Unidos tuvo una participación de 3,800 millones de dólares.

En el sector de energía c-Si, China concentró casi 70% del valor agregado total registrado en 2014, con 18,000 millones de dólares (7,000 millones en valor agregado directo y 11,000 millones en valor agregado indirecto); Japón participó con 2,100 millones de dólares en valor agregado total, y la participación Taiwán fue de 1,500 millones de dólares.

En Estados Unidos, la producción de polisilicio concentra la mayor parte del valor agregado en la fabricación de módulos fotovoltaicos, con una participación de 800,000 dólares, que representa más de 60% del valor agregado de lo que representa más del 60% del valor agregado de módulos fotovoltaicos.

## Benchmark 2: comercio de energía limpia

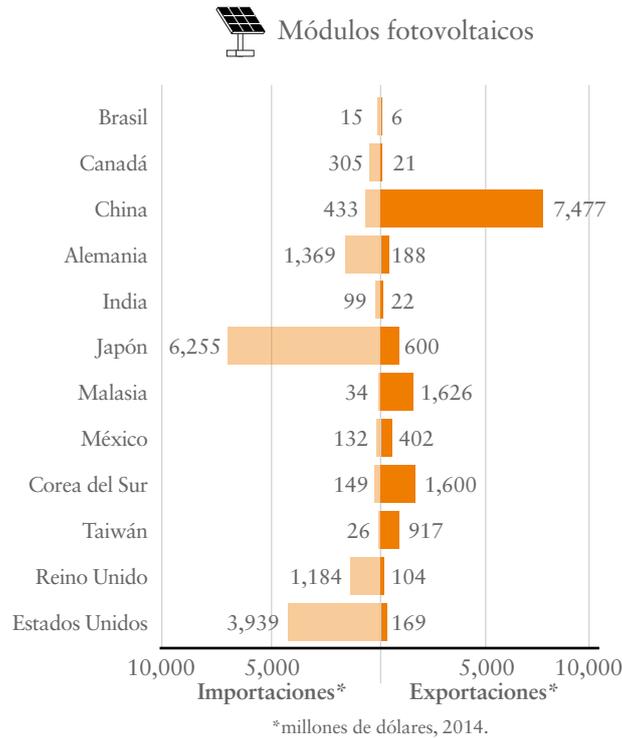
### Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino

En conjunto, las 12 economías analizadas eran exportadoras netas de energía fotovoltaica, con una balanza comercial total de 3,100 millones de dólares. En la exportación de celdas y módulos se registró una balanza comercial de 3,300 millones de dólares, mientras que el polisilicio mostró una balanza comercial negativa de -199 millones de dólares.

China lideró la producción de células y módulos con más de 12,300 millones de dólares en exportaciones y 3,000 millones de dólares en importaciones —un saldo neto de 9,400 millones de dólares—. Los mayores importadores netos fueron Japón (6,500 millones de dólares) y Estados Unidos (4.0 mil millones de dólares).

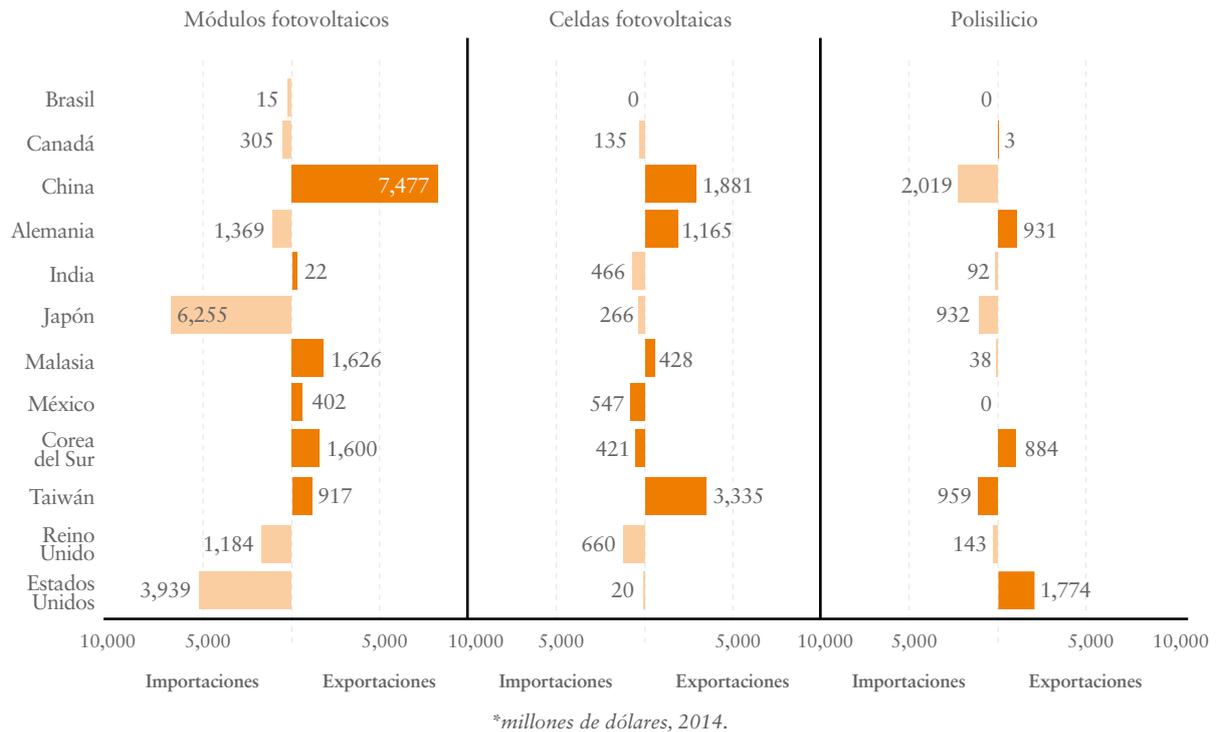
Estados Unidos encabezó el comercio de polisilicio, con una balanza comercial de 1,800 millones de dólares —ninguna otra de las economías analizadas superó los 1,000 millones de dólares—. China fue el mayor importador neto, con una balanza comercial de -2,000 millones de dólares.

**GRÁFICA 13. BALANZA COMERCIAL Y FLUJOS COMERCIALES PARA MÓDULOS FV, 2014**



Nota: Las sombras más oscuras representan las exportaciones; las sombras más claras representan las importaciones.  
Fuente: Benchmarks of Global Clean Energy Manufacturing, Clean Energy Manufacturing Analysis Center, Enero 2017.

**GRÁFICA 14. BALANZA COMERCIAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS, CÉLULAS Y POLISILICIO.\***



Fuente: Benchmarks of Global Clean Energy Manufacturing, Clean Energy Manufacturing Analysis Center, enero 2017.

### Benchmark 3: tamaño del mercado de energía limpia

En 2014, la capacidad instalada global del sistema fotovoltaico acumulado alcanzó 177 GW, mientras que la demanda anual global fue de 43 GW. Se espera que entre 2015 y 2020 la demanda mundial crezca a una tasa media anual de 12% (estimaciones de NREL con base en datos de BNEF 2015, James 2015, Labastida y Gauntlett 2015).

El mercado global de energía fotovoltaica se ha caracterizado por un rápido crecimiento de la demanda en todas las economías analizadas, alcanzando 43 GW de despliegues en 2014. Aproximadamente 90% (38 GW) de esta demanda fueron para tecnologías de módulos c-Si. De 2006 a 2012, Alemania y, en menor medida, Italia, fueron los principales centros de demanda de energía fotovoltaica; después de estos dos países, China, Estados Unidos y Japón fueron los principales mercados de demanda.

Si bien, en términos generales, la demanda ha crecido de forma considerable en los últimos 10 años, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) de casi el 50% de 2006 a 2015, este crecimiento se desaceleró a una CAGR de 26% entre 2010 y 2014, y se pronostica que bajará a 12% de 2015 a 2020. Se espera que para 2020, los principales mercados de demanda incluirán a China, Estados Unidos, Japón, India y Reino Unido.

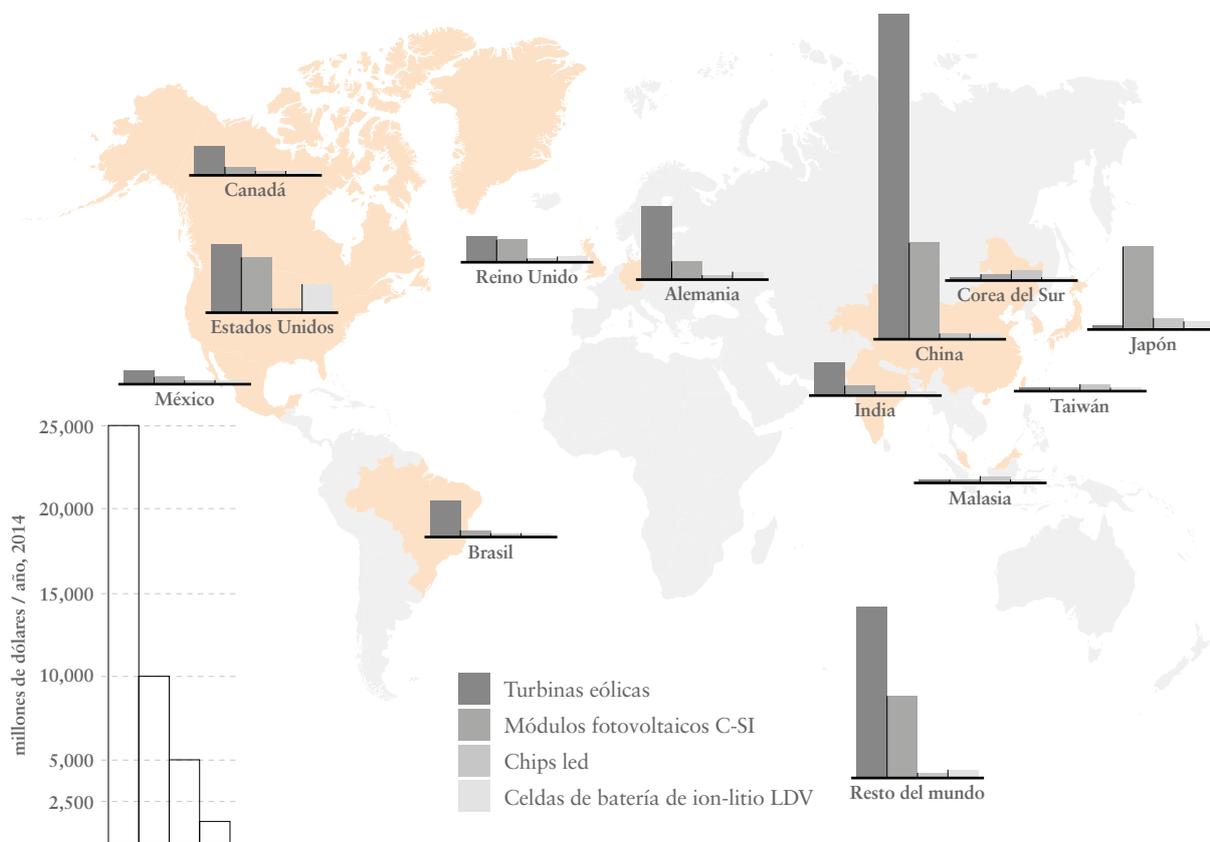
Las tecnologías c-Si representan 90% de la demanda total de energía fotovoltaica, y se espera que conserven esta cuota de mercado y se mantengan como el tipo de tecnología fotovoltaica dominante hasta 2020.

Al revisar la capacidad de demanda, producción y fabricación a lo largo de la cadena de suministro del módulo fotovoltaico c-Si en las cinco economías más grandes del mundo, se observa que el módulo global de c-Si, la fabricación de células y obleas se concentra en China, país que también es el mayor productor de polisilicio, seguido de Estados Unidos, Alemania y Corea del Sur.

### Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino

Se prevé que entre 2015 y 2020, China, Estados Unidos, Japón, India y Reino Unido serán los mayores mercados de instalación acumulada de sistemas fotovoltaicos —y, por lo tanto, los mercados con mayor demanda de módulos fotovoltaicos—. Los mercados en cada uno de estos países están sujetos a incertidumbre por las políticas de incentivos.

GRÁFICA 15. TAMAÑO DEL MERCADO EN 12 ECONOMÍAS PARA CUATRO TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA LIMPIA



Fuente: *Benchmarks of Global Clean Energy Manufacturing*, Clean Energy Manufacturing Analysis Center, enero 2017.

### Benchmark 4: fabricación de energía limpia

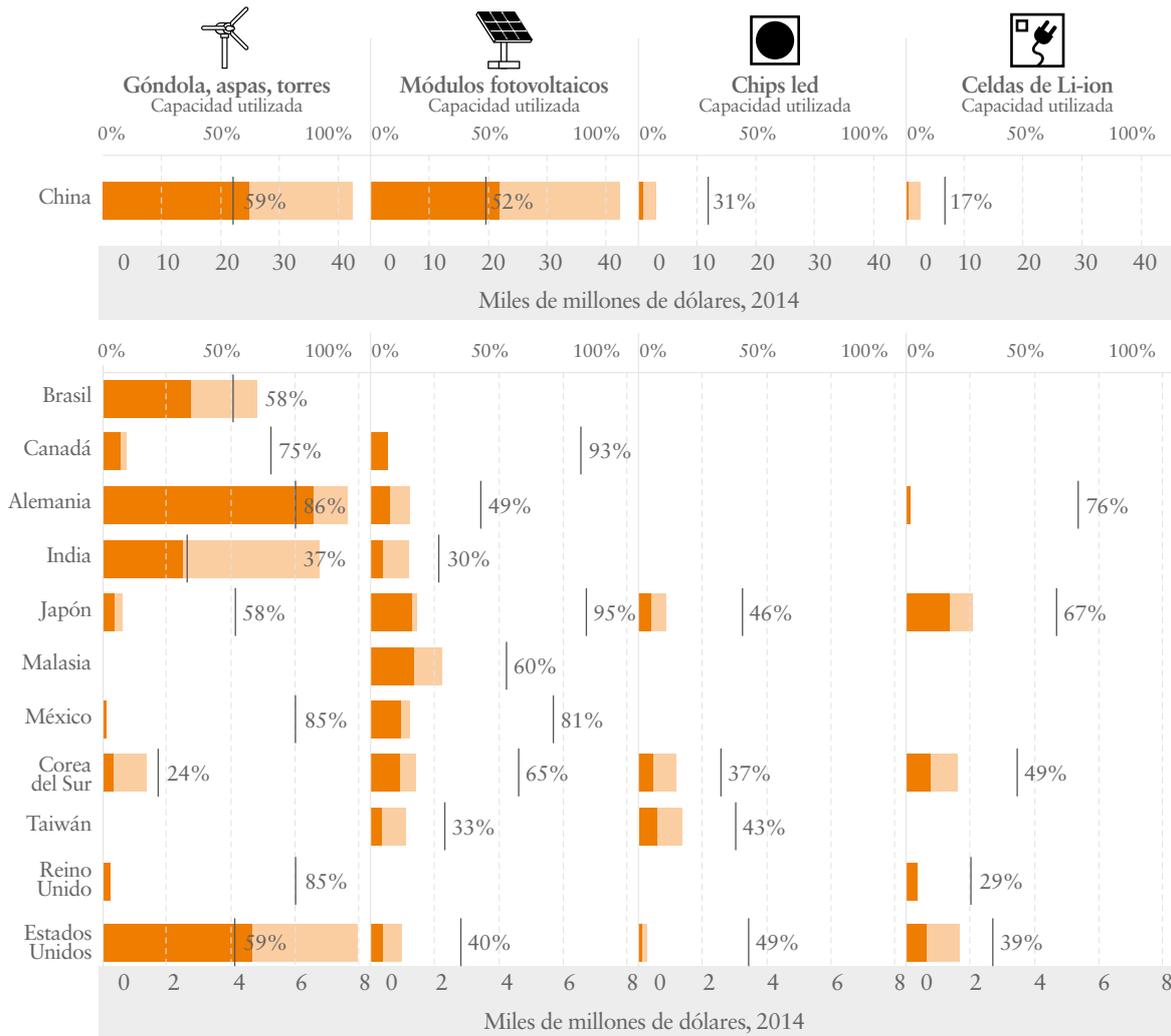
En términos generales, en 2014 hubo un exceso en la capacidad de fabricación, en relación con la demanda mundial.

### Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino

La fabricación global de módulos fotovoltaicos de c-Si se concentró en China, que, con el impulso de políticas federales, provinciales y locales y de incentivos financieros, acumuló una capacidad significativa en respuesta a la fuerte demanda mundial.

Estados Unidos es responsable de una parte sustancial de la producción de polisilicio a nivel global, y tradicionalmente exporta cantidades significativas a productores de obleas en China y otros países.

## GRÁFICA 16. UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE CUATRO PRODUCTOS DE TECNOLOGÍA DE ENERGÍA LIMPIA



Fuente: *Benchmarks of Global Clean Energy Manufacturing*, Clean Energy Manufacturing Analysis Center, enero 2017.

Las tarifas comerciales (los derechos de importación de Estados Unidos y de la Unión Europea sobre células y módulos manufacturados en China y Taiwán, y los derechos de importación de China para el polisilicio de grado solar estadounidense) parecen haber afectado el flujo global y las decisiones de expansión de la capacidad en toda la cadena de suministro (Chase et al. 2016, Shaw y Roselund 2016, Stromsta 2016, Beetz 2015, Roselund 2014).

A nivel global, en 2014, la energía fotovoltaica atrajo 150,000 millones de dólares en inversión —un aumento de 25% en comparación con 2013 (REN21 2015)—.

Si bien la red global de fabricación para la energía fotovoltaica está bien consolidada, prevalecen las oportunidades de innovación en la manufactura, incluyendo la producción rentable de arquitecturas de células avanzadas, la pureza de polisilicio y otras áreas que pueden contribuir a mayores eficiencias de celdas y módulos.



**CAPÍTULO 2**



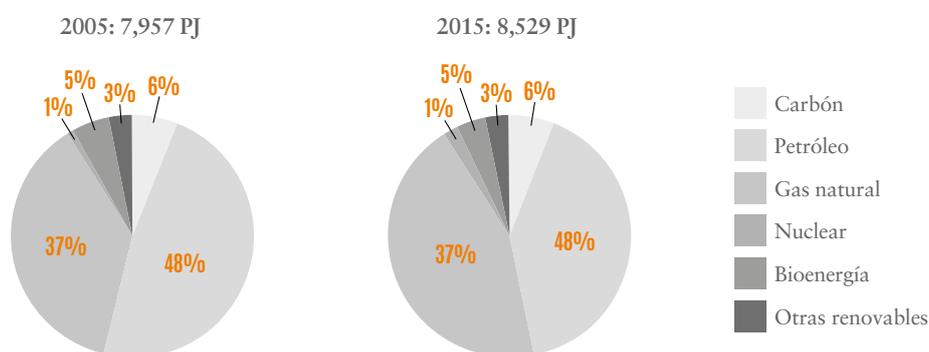


# LA INDUSTRIA SOLAR EN MÉXICO

## 2.1 ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

La estructura de las fuentes que conforman la oferta interna bruta de energía en México ha permanecido prácticamente constante en los últimos años. Sin embargo, la oferta de energía ha ido en ascenso, pasando de casi 8,000 PJ en 2005, a poco más de 8,500 PJ en 2015. Las fuentes limpias (renovables y nuclear) participaron con 9% del total de la oferta energética nacional, con 769.5 PJ (SENER, SIE 2017).

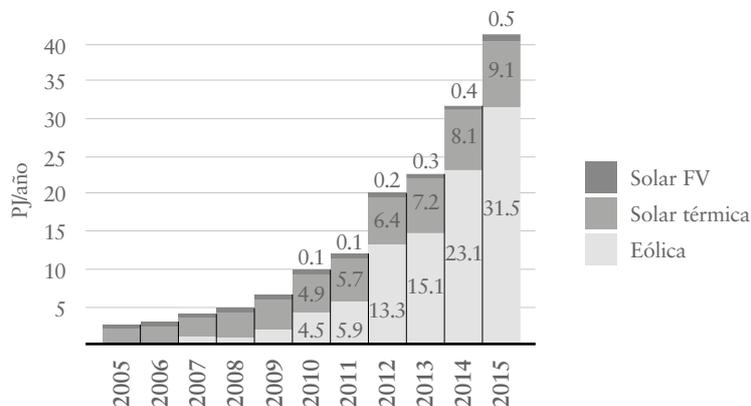
**GRÁFICA 17. ESTRUCTURA DE LA OFERTA INTERNA BRUTA DE ENERGÍA EN MÉXICO, 2005 Y 2015 (PETAJULES)**



Fuente: Elaborado por GIZ a partir de datos del Sistema de Información Energética, SENER.

En este contexto, las energías eólica y solar presentan las tasas de crecimiento más elevadas en los últimos años. A pesar de estos incrementos, la energía solar continúa siendo sub-aprovechada, ya que apenas contribuye con 0.12% de la oferta interna bruta total de energía (aproximadamente 10.15 PJ). La gráfica 18 muestra el crecimiento en la producción de energía a partir de las fuentes solar y eólica durante los últimos 10 años.

**GRÁFICA 18. PRODUCCIÓN PRIMARIA DE ENERGÍA EN MÉXICO (PJ)**



Fuente: Elaborado por GIZ a partir de datos del Sistema de Información Energética, SENER

Por el lado de la demanda, los principales consumidores de energía solar son los sectores residencial (5.29 PJ) y comercial (3.63 PJ). En dichos sectores, los usos finales de la energía solar son en su mayoría para aplicaciones térmicas (generación de calor). El sector industrial consume una fracción menor de energía solar con fines térmicos (0.49 PJ).

## 2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El aprovechamiento de la energía solar para generar electricidad a través de la tecnología fotovoltaica, puede dividirse en dos grandes rubros: proyectos de generación a gran escala y sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escalas, distribuidos en los lugares de consumo.

Los proyectos solares a gran escala se desarrollan principalmente para suministrar los requerimientos de energía por parte de empresas de generación como la CFE, y por parte de grandes consumidores de energía. El desarrollo de estos proyectos requiere un mayor periodo de financiamiento y es necesario contemplarlos en la planeación de la expansión de todo el SEN.

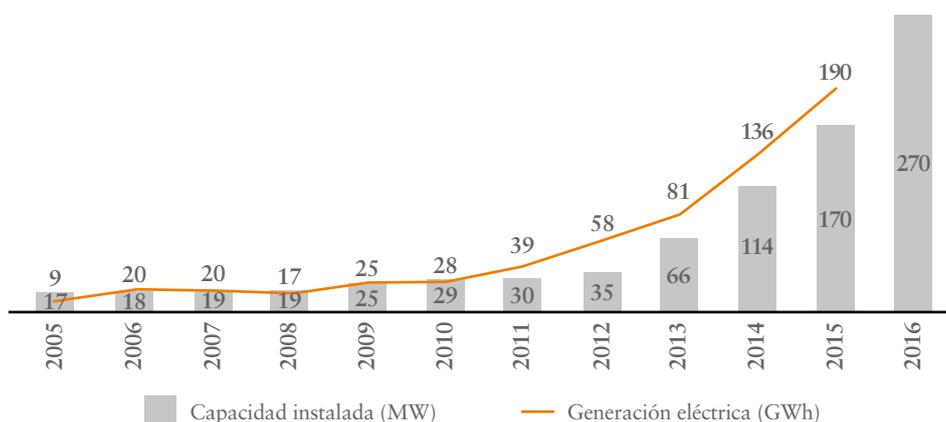
Por otro lado, están las aplicaciones de menor escala implementadas en los sectores de consumo final como los sectores residencial, comercial y mipymes, en la forma de generación distribuida. Estos sistemas fotovoltaicos de menor escala, que principalmente están destinados a abastecer las necesidades de energía en sitio, eventualmente estarán posibilitados para vender energía a la red eléctrica bajo la regulación nacional.

### 2.2.1 Sector eléctrico de gran escala

En 2016, 25% de la capacidad de generación de electricidad estuvo basada en fuentes limpias de energía; la energía solar representó una fracción muy pequeña de ese porcentaje, con una capacidad instalada de 270 MW —0.38% del total de la capacidad instalada a nivel nacional—.

Durante 2015 la generación de electricidad a partir de sistemas fotovoltaicos ascendió a 190 GWh —0.06% de la generación total del SEN—.

GRÁFICA 19. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA



Fuente: Elaborado por GIZ con información de la CRE y SENER

Hasta antes de la reforma energética, la participación del sector privado en nuevas inversiones para centrales de generación eléctrica a gran escala estaba acotada a proyectos bajo las modalidades de PIE (centrales de hasta 30 MW), pequeño productor (centrales de hasta 10 MW) —en ambos casos para vender energía a la CFE—, y autoabastecimiento —para satisfacer las necesidades de energía de un permisionario o de un conjunto de socios—. En este último caso, la energía excedente se podía inyectar a la red, a cambio de una contraprestación que era establecida ligeramente por debajo de los costos de generación de la mezcla de centrales eléctricas de CFE en alguna zona en particular —lo que en algunos casos no resultaba atractivo para el sector privado—.

Bajo este esquema, el desarrollo de proyectos fotovoltaicos a gran escala fue relativamente limitado en el país, con la participación de unas cuantas empresas, principalmente de capital nacional, que iniciaron operaciones en este campo instalando proyectos para autoabastecimiento. El primer proyecto de pequeña producción, denominado Aura Solar, estuvo a cargo del grupo mexicano Gauss Energía; posteriormente los grupos Iusasol, de México, y Eosol Energy, de España, incurrieron en proyectos de pequeña producción con dos y cinco centrales, respectivamente.

Al 30 de junio de 2016 se reportaron 14 centrales de generación con este tipo de tecnología; en conjunto, estas centrales suman 120.6 MW de capacidad instalada, que puede generar hasta 267.4 GWh de energía eléctrica (tabla 4).

**TABLA 4. PERMISOS DE GENERACIÓN E IMPORTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (2016)**

No	Central	Entidad federativa	Esquema	Capacidad autorizada (MW)	Energía autorizada (GWh)	Entrada en operación
1	Autoabastecimiento renovable, S.A. de C.V.	Aguascalientes	Autoabasto	0.8	1.8	2011
2	Coppel, S.A. de C.V.	Sinaloa	Autoabasto	1.0	2.3	2014
3	Generadora Solar Apaseo, S.A.P.I. de C.V.	Guanajuato	Autoabasto	1.0	2.1	2013
4	Plamex, S.A. de C.V.	Baja California	Autoabasto	1.0	1.9	2014
5	Iusasol Base, S.A. de C.V.	Estado de México	Autoabasto	0.9	1.9	2015
6	Iusasol 1, S.A. de C.V.	Estado de México	Autoabasto	18.3	37.2	2016
7	Santa Rosalía (CFE)	Baja California Sur	Generación	1.0	2.0	2012
8	Cerro Prieto (CFE)	Baja California	Generación	5.0	11.0	2012
9	Servicios Comerciales de Energía, S.A. de C.V. (Aura Solar)	Baja California Sur	PP	30.0	86.0	2013
10	Tai Durango Uno, S.A.P.I. de C.V.	Durango	PP	15.6	32.4	2016
11	Tai Durango Dos, S.A.P.I. de C.V.	Durango	PP	6.3	12.1	2016
12	Tai Durango Tres, S.A.P.I. de C.V.	Durango	PP	3.5	6.8	2016
13	Tai Durango Cuatro, S.A.P.I. de C.V.	Durango	PP	6.3	12.1	2016
14	Tai Durango Cinco, S.A.P.I. de C.V.	Durango	PP	30.0	57.9	2016
Total				120.7	267.5	

*Fuente: Comisión Reguladora de Energía*

A raíz de los cambios estructurales en el sector energético mexicano, y en particular con la introducción del nuevo modelo del MEM, en enero de 2016, se dio inicio a una nueva dinámica para generar y adquirir energía eléctrica. Gracias a las nuevas oportunidades para inversiones de mayor escala en el sector eléctrico mexicano, el mercado nacional ha podido capitalizar los precios competitivos presentes en otras economías.

Un ejemplo de ello es el resultado de la primera fase de operación del MEM, que hasta ahora ha promovido dos subastas de largo plazo para adquirir energía, potencia y CEL, con el objetivo de cumplir la meta país de incrementar gradualmente la participación de energías limpias en la generación de electricidad.

Como resultado de estas dos subastas se han adjudicado 28 contratos de largo plazo para proyectos fotovoltaicos, con una inversión de más de 4,500 millones de dólares, que entrarán en operación comercial en 2018 y 2019. Estos proyectos representan la instalación de nueva capacidad fotovoltaica por 3,544 MW.

Las subastas de largo plazo también han aprovechado los precios competitivos de la energía eólica: se espera que entre 2018 y 2019 se instalen 1,522 MW de nueva capacidad.

El número de participantes en el desarrollo de proyectos solares ha crecido de manera importante en México: los 28 proyectos fotovoltaicos adjudicados, serán desarrollados por 20 empresas.

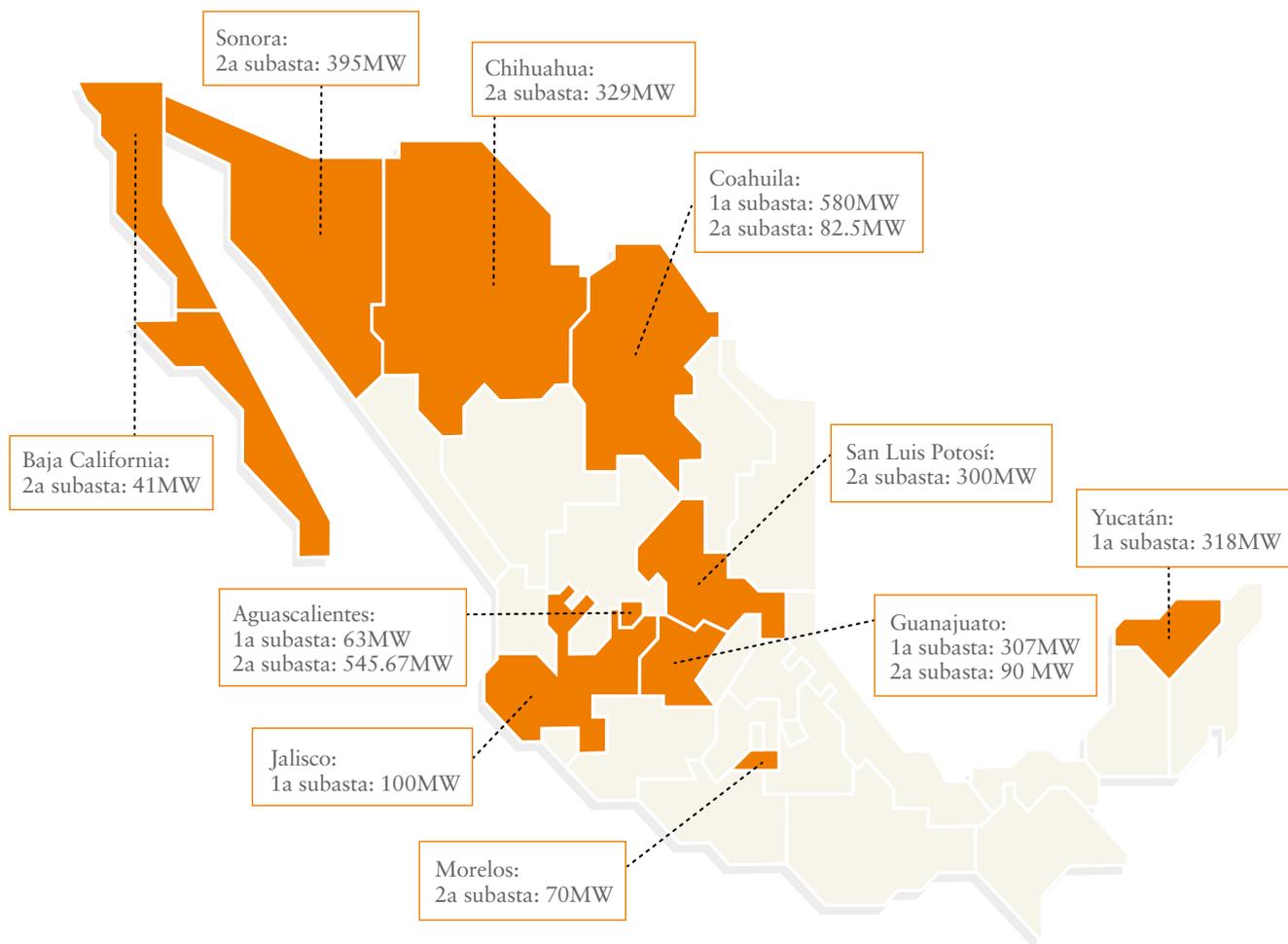
**TABLA 5. NUEVA CAPACIDAD A SER INSTALADA Y EMPRESAS DESARROLLADORAS, PRIMERA Y SEGUNDA SUBASTAS DE LARGO PLAZO**

Primera Subasta	Segunda subasta
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sunpower (100 MW)</li> <li>• Enel (787 MW)</li> <li>• Recurrent (63 MW)</li> <li>• Sunpower (500 MW)</li> <li>• Jinko (188 MW)</li> <li>• Alter Enersun (30 MW)</li> <li>• Thermion (23 MW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acciona (180 MW)</li> <li>• Ienova (41 MW)</li> <li>• Zuma Energía (148 MW)</li> <li>• OPDE (112.17 MW)</li> <li>• Fistera Energy (125 MW)</li> <li>• Gestamp Solar (X-Elio) (150 MW)</li> <li>• ENGIE (126 MW)</li> <li>• Ienova &amp; Trina Solar (100 MW)</li> <li>• Fotowatio Renewables (300 MW)</li> <li>• Hamwha Q-Cells (101.08 MW)</li> <li>• Alten Energías Renovables (290 MW)</li> <li>• EDF (90 MW)</li> <li>• Grenergy (30 MW)</li> </ul>

*Fuente: elaborado con información del CENACE*

La nueva capacidad instalada de energía solar fotovoltaica se concentrará principalmente en siete estados del país; Coahuila, Aguascalientes, Yucatán, Sonora, San Luis Potosí y Chihuahua, que abarcarán, en conjunto, 93% de la nueva capacidad resultado de la primera y segunda subastas (3,310 MW); el 7% restante será instalado en los estados de Jalisco, Morelos, Baja California y Baja California Sur.

**FIGURA 6. NUEVOS DESARROLLOS DE PROYECTOS FOTOVOLTAICOS DERIVADOS DE LA PRIMERA Y SEGUNDA SUBASTAS DE LARGO PLAZO**



Fuente: Elaborado por GIZ con información de CENACE y SENER

### 2.2.2 Generación distribuida

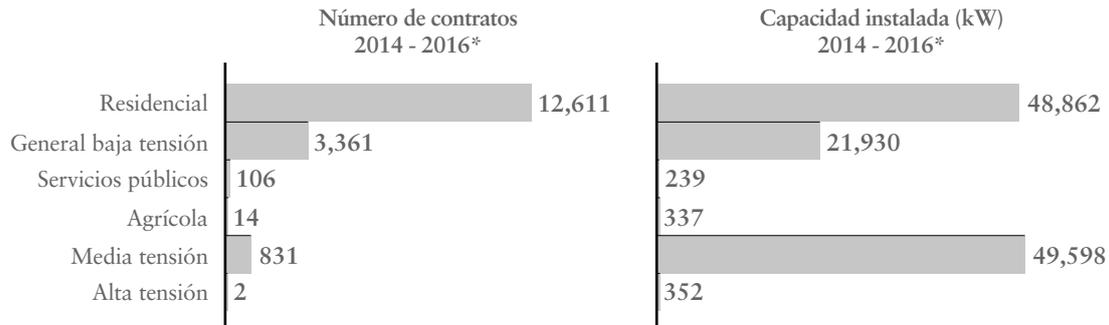
En los últimos años, el incremento en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica, se ha visto reforzado por el crecimiento de la generación distribuida fotovoltaica. Al cierre de 2015, esta modalidad de generación alcanzó 114 MW de capacidad instalada. De acuerdo a la CRE, los contratos de interconexión solar a pequeña<sup>2</sup> y mediana<sup>3</sup> escalas ascendieron a 73.46 MW y 40.44 MW, respectivamente. Los sistemas fotovoltaicos representaron 97% de la capacidad total instalada en esta modalidad —el resto lo ocupan principalmente los contratos de interconexión de pequeñas centrales basadas en biogás para generación eléctrica—.

El crecimiento de la generación distribuida se debe a la instalación de sistemas solares en el sector residencial, por parte de usuarios que cuentan con una tarifa de alto consumo (DAC), —quienes, por su nivel de consumo, no son sujetos de los subsidios del gobierno federal—; otro segmento que hasta ahora ha instalado este tipo de sistemas son los usuarios de tarifas eléctricas de media y baja tensión, principalmente mipymes.

<sup>2</sup> Uso residencial hasta 10 kW y uso general en baja tensión hasta 30kW

<sup>3</sup> Usuarios con servicios hasta 500kW

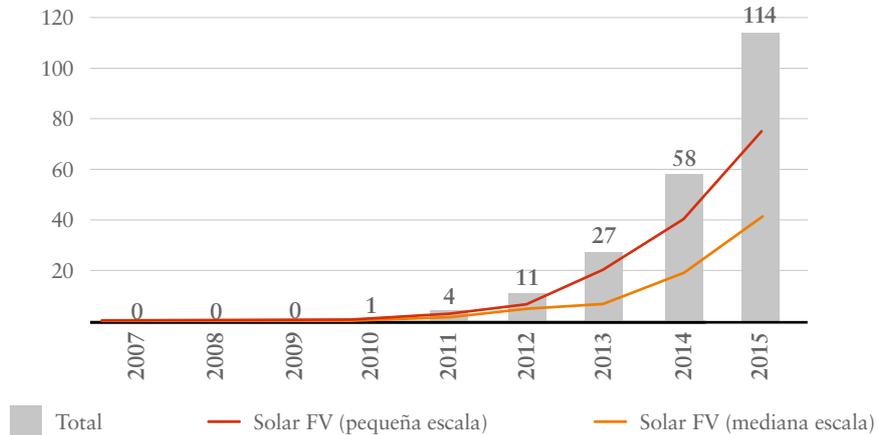
## GRÁFICA 20. NÚMERO DE CONTRATOS Y CAPACIDAD INSTALADA POR GRUPO TARIFARIO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA



Fuente: Elaborado CRE, con información de CFE. Datos al primer semestre de 2016

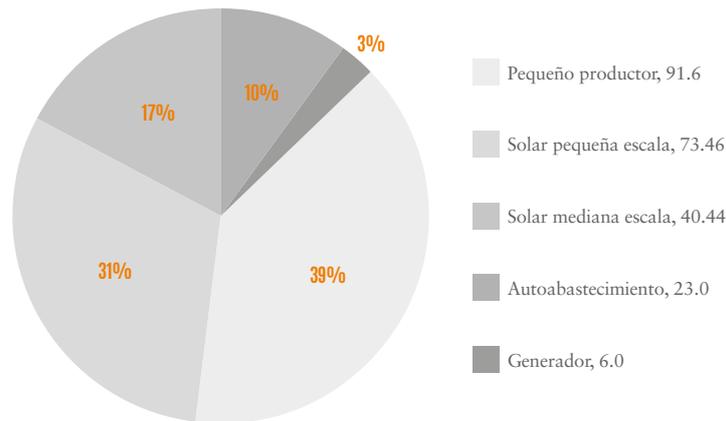
La gráfica 21 muestra la evolución de la generación distribuida. Cabe destacar la paridad entre la energía solar fotovoltaica a gran escala y la generación distribuida. Se espera que con los procesos de instrumentación de la reforma energética, se registren aumentos importantes en la capacidad instalada en los próximos años, tanto en sistemas solares a gran escala como en generación distribuida (en el siguiente capítulo se presenta una mirada más profunda de los cambios en el sector y su impacto en las expectativas de la industria solar).

## GRÁFICA 21. EVOLUCIÓN EN LA CAPACIDAD INSTALADA DE TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN GENERACIÓN DISTRIBUIDA (MW)



Fuente: Elaborado por GIZ a partir de estadísticas anuales de la CRE

## GRÁFICA 22. CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA POR MODALIDAD (MW)



Fuente: Elaborado por GIZ a partir de estadísticas anuales de la CRE

En México existen diversas instituciones que promueven y financian sistemas fotovoltaicos para los sectores vivienda, mipymes y agronegocios; entre ellas se encuentran el Infonavit, el FIDE, el FIRCO y FIRA. Estas instituciones cuentan con padrones de proveedores confiables, los cuales son verificados a través de terceros o por la propia institución; en los casos de Infonavit, FIRCO y FIDE, los proveedores son verificados a través de la ANCE, mientras que el FIDE cuenta con un comité interno encargado de validar y verificar a proveedores que pueden participar en los programas de financiamiento.

A través de los portales electrónicos de ANES, FIDE y FIRCO, se identificó la presencia de más de 600 empresas que han incursionado en el mercado de la generación distribuida fotovoltaica en México; sin embargo, la información reportada en estos portales no refleja necesariamente el universo total de empresas con participación en el mercado mexicano.

En el mercado se pueden encontrar productos —la mayoría certificados con el sello FIDE— de por lo menos 28 empresas<sup>4</sup> nacionales y extranjeras dedicadas a la manufactura de paneles fotovoltaicos. Asimismo, se tiene registro de 12 empresas fabricantes de inversores de tensión monofásica para sistemas fotovoltaicos, certificadas bajo el sello FIDE.

El FIRCO, institución que ha apoyado la instalación de sistemas fotovoltaicos en agronegocios, cuenta con un registro de 563 empresas desarrolladoras de proyectos. Los estados con mayor presencia de empresas son Sonora, Jalisco, Nuevo León, Chihuahua, Sinaloa, Ciudad de México, Estado de México y Baja California; en conjunto, en estos estados se concentra 52% de las empresas de las que FIRCO tiene registro, el resto de las empresas se distribuye a lo largo del territorio nacional.

Hasta 2016, el desarrollo de la generación distribuida solar había sido estado impulsado por los esquemas de interconexión enfocados al autoabastecimiento, mediante proyectos de hasta 500 kW. Los sistemas fotovoltaicos intercambiaban energía con la red, almacenándola virtualmente, para utilizarla durante los periodos del día en los que crece la demanda. En algunas regiones, el desarrollo de estos proyectos estaba limitado a la capacidad de la CFE para procesar el volumen de trámites de interconexión y la disponibilidad de medidores bidireccionales para medir la energía intercambiada con la red. Hasta ese entonces, la regulación mexicana no permitía la venta de energía a la red, por lo cual la escala de los proyectos estaba limitada a satisfacer las necesidades propias de energía.

<sup>4</sup> Alles Ambiental, Aux de México, Canadian Solar, Cenage, Conermex, Comdecora, Desarrollo de Productos, Desmex, Energía Mundial y Manufacturas de América, Energía Renovable de América, Energías Renovables Exacta, Exel Solar, Fralgo, Grupo Ecológico RGK, Kyocera Mexicana, Pulse Energy, Renesola México, Sharp Corporation México, Solartec, Solarvatio, Sunedison de México RSC, Trina Solar, Villareal División de Equipos, Yingli Green Energy México, Iusasol, JA Solar International Limited, Jinko Solar.

Bajo los nuevos esquemas regulatorios, los pequeños generadores no sólo pueden satisfacer sus necesidades de energía, sino que pueden vender energía a la red, lo que permitirá desarrollar nuevos modelos de negocio y proyectos de mayor escala (hasta 500 kW), y dará mayor dinamismo a la cadena de valor de la industria. Además de los cambios en la regulación, se han agilizado los tiempos de respuesta para las solicitudes de interconexión a la red.

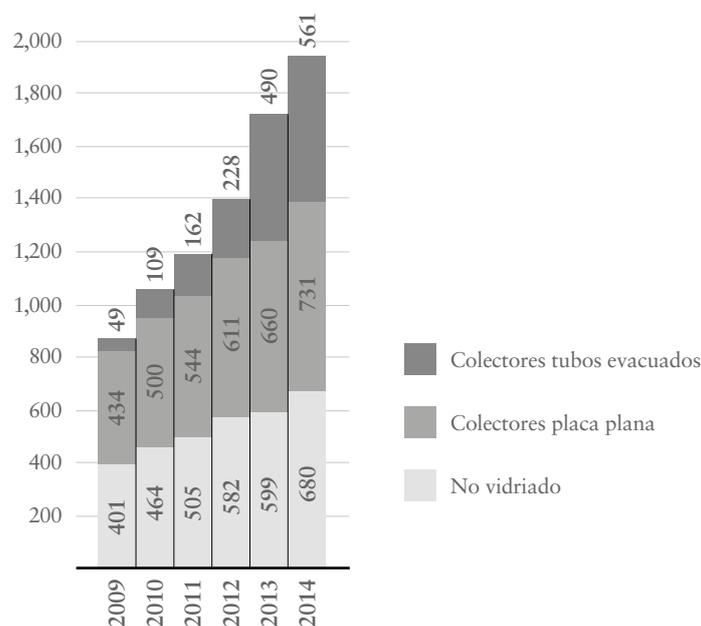
## 2.3 ENERGÍA SOLAR FOTOTÉRMICA

### a) Generación de calor

Actualmente, el subsector de la energía fototérmica está más desarrollado que su contraparte fotovoltaica. En el país se han implementado con anterioridad programas para la promoción de esta tecnología, sobre todo aplicada al calentamiento de agua en el sector residencial, con lo que su despliegue ha sido mucho mayor. Entre estos programas destacan el PROCALSOL, Hipoteca Verde y el proyecto 25,000 Techos Solares para México; en menor medida, FIRCO ha impulsado la instalación de sistemas fototérmicos de mediana escala en el sector de agronegocios. En los sectores comercial e industrial, y residencial de mayor escala, se comienzan a presentar incrementos en el aprovechamiento de la energía solar. También se ha promovido el uso de calentadores solares de aire, sobre todo con aplicaciones de secado; sin embargo, esta aplicación tiene una participación menor a la de los sistemas de calentamiento de agua.

El aprovechamiento de la energía solar fototérmica ha mantenido un crecimiento constante durante los últimos años. A finales de 2014 se contaba con una capacidad instalada de 1,979 MWt entre CSA (1,972 MWt) y calentadores solares de aire (6.6 MWt). En cuanto al tipo de tecnología en CSA, predomina el uso de colectores planos, seguido de colectores no vidriados y tubos evacuados.

GRÁFICA 23. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE CSA POR TIPO DE TECNOLOGÍA (MWT)



Fuente: Mauthner, Weiss, & Spörk-Dür, 2016

## *b) Generación de electricidad*

La generación de electricidad a partir de energía solar fotovoltaica de gran escala se perfila como uno de los elementos clave, junto con la energía eólica, para alcanzar las metas de energías limpias que México se ha planteado.

Hasta ahora, el despliegue de la tecnología de CSP ha sido limitado. Las condiciones tecnológicas y financieras adversas que experimentaba la tecnología CSP en la década de 1980, influyeron de manera negativa para considerar la incorporación de este tipo de centrales en la expansión del sector eléctrico. Sin embargo, en 2006, el Banco Mundial aprobó el apoyo financiero en condiciones concesionarias para el diseño y construcción de un campo solar basado en tecnología CSP, acoplado a una central de ciclo combinado, para demostrar y promover la viabilidad de la tecnología dentro y fuera de México, como una forma de contribuir a la reducción de emisiones de GEI a nivel mundial.

Así, con la construcción del proyecto Agua Prieta II de la CFE —central híbrida de ciclo combinado con un campo adyacente de CCP— se ha dado un primer paso para el aprovechamiento de la energía fototérmica para generación de electricidad en México. Esta central, ubicada en el estado de Sonora, cuenta con una capacidad instalada de 394 MW y es la primera central de ciclo combinado de última tecnología en América Latina en contar con un campo solar integrado. En 2016 concluyó la etapa de construcción de este campo solar de 14 MW, cuya operación comercial está programada para comenzar en 2017. Este campo transfiere calor a un aceite especial que, una vez que alcanza una temperatura de cerca de 400°C, se hace circular hacia un módulo de intercambio térmico; el calor resultante, es utilizado para producir vapor de agua que es empleado por el ciclo combinado para generar energía eléctrica.

El proyecto de diseño, construcción y puesta en marcha de la central de Agua Prieta II estuvo a cargo del consorcio formado por las empresas Sener Ingeniería y Sistemas, Elecnor, y Proyectos Eléctricos Agua Prieta.

### **CENTRAL DE CICLO COMBINADO AGUA PRIETA II CON CAMPO SOLAR CSP (SONORA, MÉXICO)**



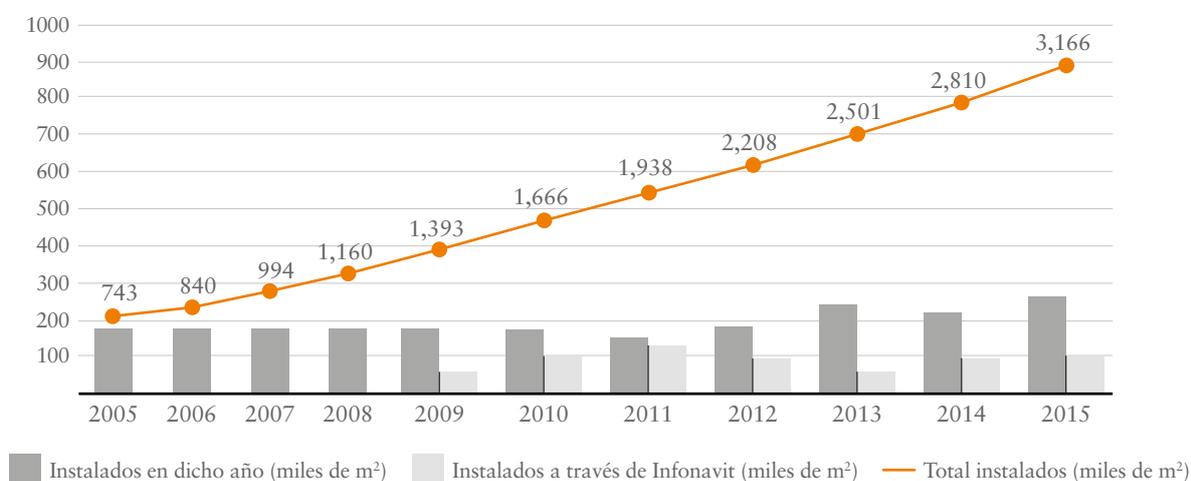
*Fuente: Elecnor México*

### 2.3.1 Sector residencial

El sector residencial es el tercer consumidor de energía en México. Durante 2015, este sector consumió 755 PJ, equivalentes a 14.8% del consumo total del país. En el mismo año, principalmente debido a los programas de promoción del uso de la energía solar, el sector residencial registró una producción récord de energía solar de 5.3 PJ, que representó tan sólo 0.7% de su consumo energético.

En la última década, la participación de los distintos tipos de combustibles para satisfacer la demanda energética de los hogares en México ha permanecido prácticamente constante, con los combustibles fósiles tradicionales y la electricidad como principales fuentes; sin embargo, la energía solar ha registrado el crecimiento más dinámico dentro del sector: se estima que de la capacidad instalada en 2015, aproximadamente 30% se instaló en el marco del Programa Hipoteca Verde del Infonavit.

GRÁFICA 24. EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE INSTALADA DE CSA EN MÉXICO (MILES DE M<sup>2</sup>)



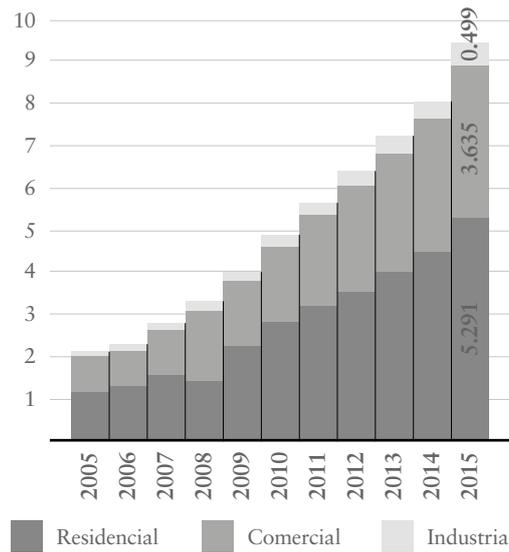
Fuente: Elaborado por GIZ a partir de información del Balance Nacional de Energía 2015 (SENER) y estadísticas de calentadores solares de agua instalados a través del Programa Hipoteca Verde de Infonavit.

### 2.3.2 Sector comercial

Comparado con los otros sectores, el sector comercial registra un menor consumo de energía. A pesar de no contar con ningún esquema de promoción específico, la energía solar es la de mayor crecimiento en este sector; sin embargo, este tipo de energía participa con tan sólo 2.2% (3.6 PJ) del consumo total del sector.

La gráfica 25 muestra la evolución en el consumo de energía solar en los sectores residencial, comercial e industrial.

**GRÁFICA 25. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA SOLAR EN LOS SECTORES RESIDENCIAL, COMERCIAL E INDUSTRIAL (PJ)**



Fuente: Elaborado por GIZ con datos del Sistema de Información Energética, SENER.

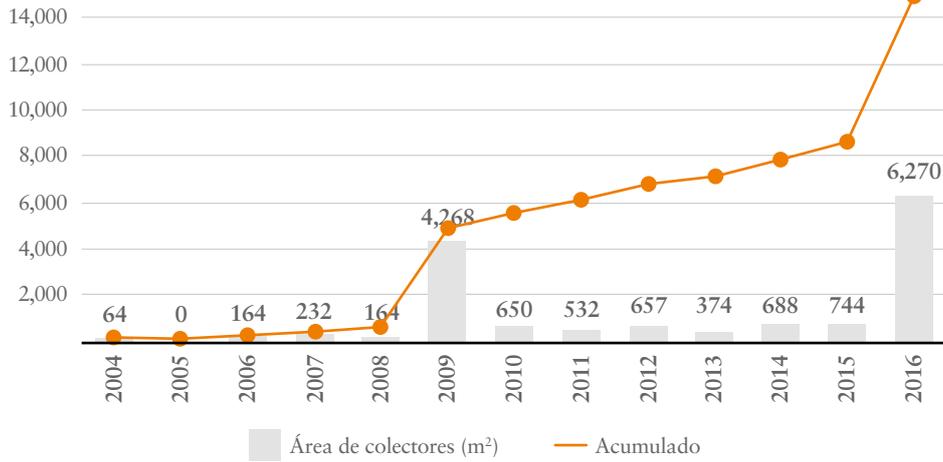
### 2.3.3 Sector industrial

El sector industrial es el segundo mayor consumidor de energía en México, con una participación de 31.4% del consumo energético total del país en 2015. Si bien el uso de energía solar ha registrado un incremento marginal en este sector y no existe ningún programa específico para su promoción, la tecnología solar comienza a mostrar dinamismo y despierta cada vez mayor interés como una fuente confiable de calor, a precios estables, y como una alternativa para reducir el consumo de combustibles fósiles y la emisión de GEI.

De acuerdo con la base de datos de proyectos de calor solar para procesos industriales, creada en el marco del Grupo de Trabajo 49/IV de la IEA, en México se han instalado al menos 28 proyectos solares térmicos en diferentes subsectores industriales, entre los que destacan agricultura, minería de cobre, producción de alimentos preparados para mascotas, elaboración de productos lácteos, alimentos procesados, producción de bebidas, elaboración de sustancias y productos químicos, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos, y manufactura de productos metálicos —excepto maquinaria y equipo—.

En conjunto, estos sistemas representan una capacidad instalada de 10,145 kWt, equivalentes a 14,807 metros cuadrados de colectores solares instalados. Entre estos sistemas destacan los sistemas solares con colectores solares planos, con 64% de la capacidad térmica instalada, seguidos de colectores sin cubierta, con 26% de la capacidad instalada.

## GRÁFICA 26 CAPACIDAD DE CSA INSTALADA EN EL SECTOR INDUSTRIAL (M<sup>2</sup>)

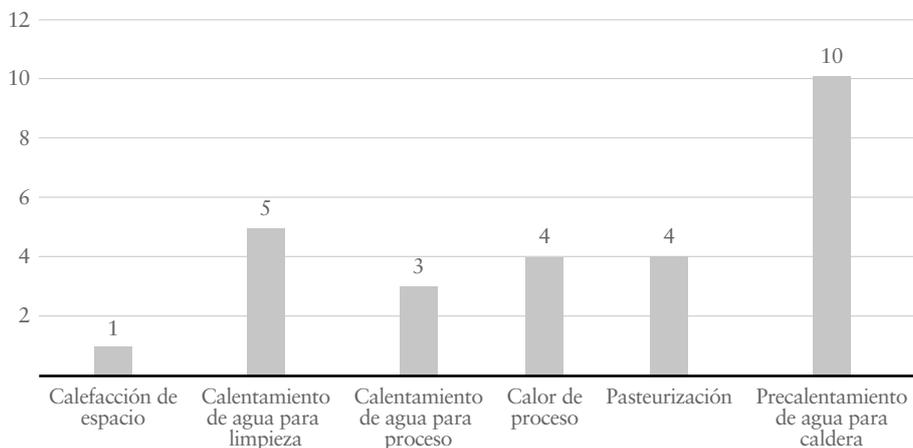


Fuente: Elaborado por GIZ a partir de información de ship-plants.info.

Además de los proyectos reportados en la base de datos de la IEA, existen registros de 149 proyectos apoyados por el FIRCO entre 2008 y 2015, distribuidos en 24 estados del país, de los cuales 86% cuenta con tubos evacuados, 13.4% con colectores planos y el resto son SCS.

Estos sistemas solares térmicos han sido instalados principalmente en establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF)<sup>5</sup> —110 sistemas—, agroindustrias, granjas acuícolas y porcinas, establos, invernaderos y desarrollos turísticos rurales. El desarrollo de estos sistemas ha encontrado diferentes aplicaciones en los procesos productivos, que van desde proveer calor para usos generales hasta calor para procesos unitarios específicos, como la pasteurización de leche, por ejemplo.

## GRÁFICA 27. DISTRIBUCIÓN DE NUMERO DE PROYECTO POR TIPO DE APLICACIÓN

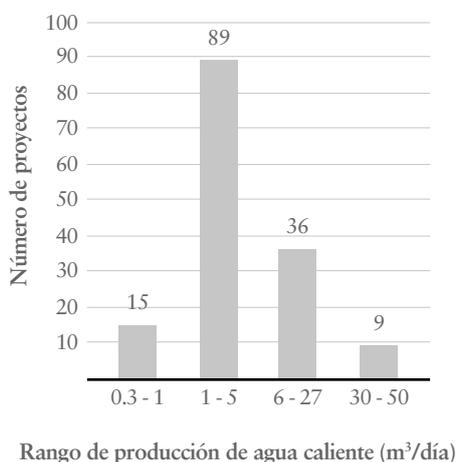


Fuente: Elaborado por GIZ a partir de información disponible en ship-plants.info.

<sup>5</sup> Instalaciones de sacrificio de animales de abasto, frigoríficos e industrializadores de productos y subproductos cárnicos.

La capacidad de estos proyectos para generar agua caliente se distribuye en un rango entre 0.3 metros cúbicos y 50 metros cúbicos diarios. La mayor parte de estos proyectos se concentra en aplicaciones relativamente pequeñas —en un rango de 1 a 5 metros cúbicos de agua por día—, en comparación con los grandes requerimientos de energía térmica que en general se registran en las industrias medianas y grandes.

**GRÁFICA 28. DISTRIBUCIÓN DE PROYECTOS POR RANGO DE PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE AL DÍA**



Fuente: FIRCO.

## 2.4 PERFIL DE MANUFACTURA DE TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO

México tiene un PIB de casi 1,300 millones de dólares, y es la decimoquinta economía más grande en el mundo. El país tiene una larga historia como un importante productor de energía, principalmente petróleo y gas natural. El crecimiento económico del país se ha traducido en aumento de la demanda de energía, que ha sido satisfecha fundamentalmente a través de la expansión del gas natural y la energía eólica. Hasta el primer semestre de 2016, México tuvo un acumulado de 270 MW de energía solar y 3,193 MW de energía eólica instalada (SENER, 2017), con una capacidad adicional prevista para ambas fuentes en los próximos años. Actualmente, en el país existen diversas leyes, políticas e incentivos para impulsar la demanda y la oferta de tecnologías de energía renovable.

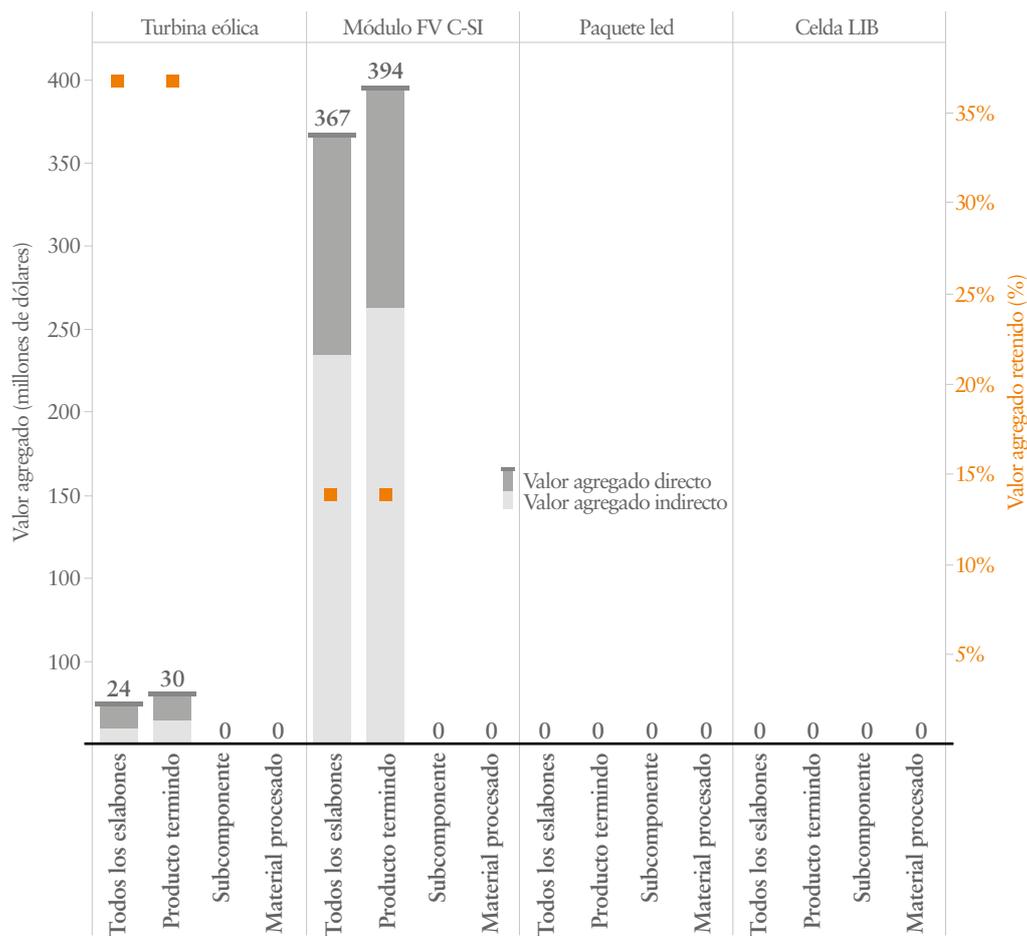
### a) Valor agregado en la fabricación

En 2014, la fabricación de módulos fotovoltaicos c-Si y de torres de aerogeneradores y palas en México, aportó un total de 391 millones de dólares en valor agregado directo e indirecto.

Los mayores niveles de valor agregado se registraron en la manufactura de paneles fotovoltaicos c-Si (367 millones de dólares), mientras que la fabricación de tecnología para energía eólica aportó 24 millones de dólares.

En comparación con otras economías, los niveles de valor agregado directo en la cadena de suministro de las energías fotovoltaica y eólica en México son relativamente bajos. Los módulos fotovoltaicos c-Si fabricados en México y los componentes de aerogeneradores aportaron 14% y 37%, respectivamente, en el valor agregado directo como parte de los ingresos.

**GRÁFICA 29. VALOR AGREGADO DE MÉXICO Y VALOR AGREGADO RETENIDO PARA DIVERSAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA LIMPIA, 2014**



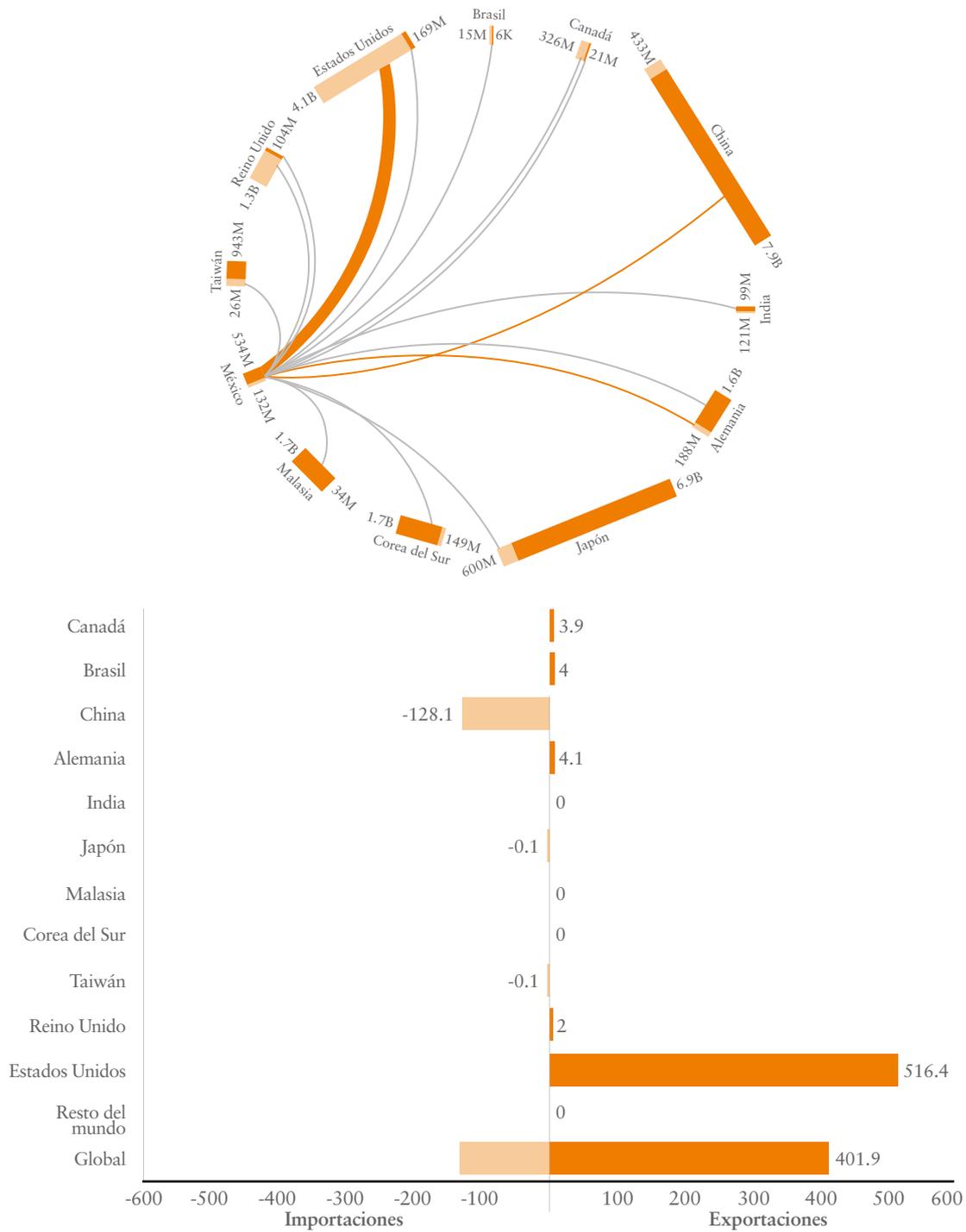
Nota: Las barras de tono oscuro corresponden al valor agregado directo, las barras de tono más claro corresponden al valor agregado indirecto.

Fuente: Benchmarks of Global Clean Energy Manufacturing, Clean Energy Manufacturing Analysis Center, enero 2017.

### b) Comercio

En 2014, las exportaciones desde México de módulos fotovoltaicos ascendieron a 534 millones de dólares, mientras que las importaciones tuvieron un valor de 132 millones de dólares —un superávit de 402 millones de dólares—. Los principales socios comerciales de México fueron China (importación), Estados Unidos y Alemania (exportación).

**GRÁFICA 30. FLUJOS COMERCIALES Y BALANZA COMERCIAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE MÉXICO EN 2014\***



\*Millones de dólares, 2014.

Nota: Las sombras más oscuras representan las exportaciones; los tonos más claros representan las importaciones.  
 Fuente: Benchmarks of Global Clean Energy Manufacturing, Clean Energy Manufacturing Analysis Center, operated by the Joint Institute for Strategic Energy Analysis at the DOE's National Renewable Energy Laboratory, junio 2017.

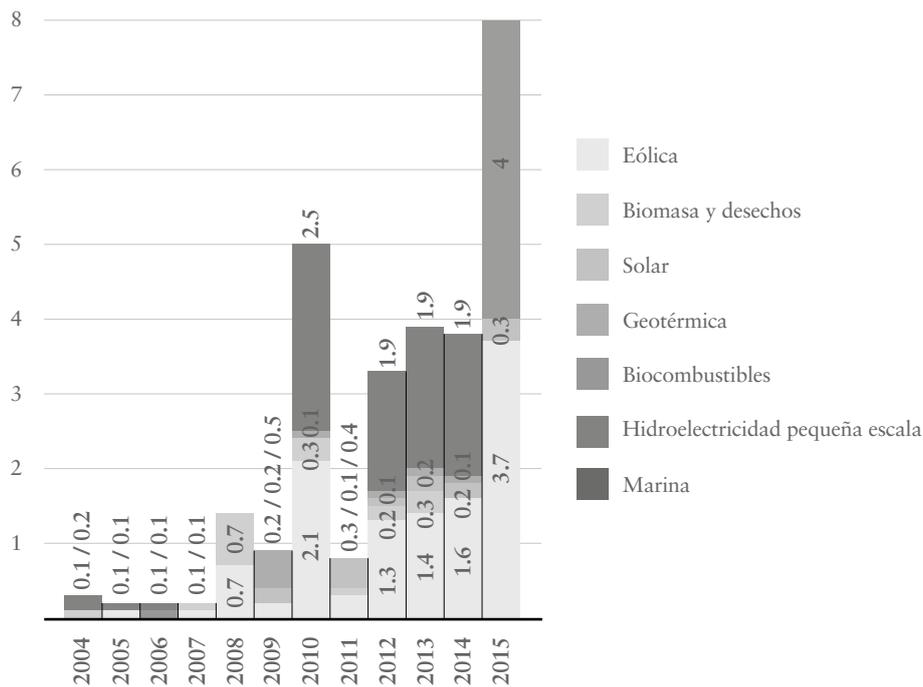
En 2014, México importó 574 millones de dólares en células fotovoltaicas, principalmente de China. La importación de este componente, esencial para el ensamble y fabricación de módulos fotovoltaicos, forman parte de la cadena de suministro global para mantener el flujo de exportación de módulos fotovoltaicos terminados al mercado estadounidense. En 2014, las exportaciones de México a Estados Unidos de células fotovoltaicas provenientes de China alcanzaron un valor de 27 millones de dólares. Así, la balanza comercial de este tipo de componentes fue negativa para México (con un déficit de 547 millones de dólares), lo que es un indicador de que en México prácticamente no se fabrican los componentes de mayor valor agregado en la cadena de valor de la tecnología fotovoltaica.

Si bien la red global de manufactura para la energía fotovoltaica está bien consolidada, hay oportunidades de innovación, incluyendo la producción rentable de arquitecturas de células avanzadas, la pureza de polisilicio y otras áreas que podrían contribuir a mayores eficiencias de celdas y módulos.

### c) Tamaño del mercado de energía limpia

Hasta el primer semestre de 2016, la capacidad instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos en México alcanzó 270 MW y se estima que el mercado tiene un valor anual de entre 200 millones y 300 millones de dólares.

**GRÁFICA 31. TOTAL DE NUEVA INVERSIÓN DE MÉXICO EN ENERGÍA LIMPIA POR SECTOR 2004-2015 (MILES DE MILLONES DE DÓLARES)**



Nota: EST significa Energy Smart Technologies. El valor total incluye estimaciones de ofertas no reveladas, así como la I+D corporativa y gubernamental, y el gasto para proyectos de energía digital y almacenamiento de energía (no reportados en las estadísticas trimestrales).

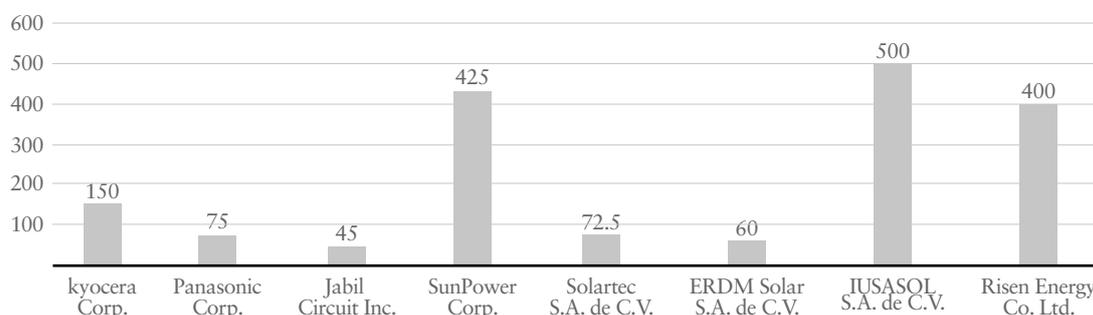
Fuente: Bloomberg New Energy Finance, junio 2016.

Se estima que en 2018 y 2019 el mercado registrará un crecimiento anual promedio de por lo menos 1,800 millones de dólares, considerando únicamente el crecimiento esperado de proyectos fotovoltaicos de la primera y segunda subastas de largo plazo.

#### d) Fabricación de módulos FV

En México, la tasa de utilización de manufactura dentro de cada sector de la tecnología está por encima de los promedios mundiales. Por ejemplo, en la fabricación de módulos fotovoltaicos, México registró una tasa promedio de utilización de 81%, por encima de la media global de 55%. Actualmente, con la capacidad instalada en México es posible producir 1,206 millones de dólares al año, pero debido a la menor utilización en 2014 se produjeron alrededor de 977 millones de dólares. De acuerdo con BNEF, al cierre de 2015 México contaba con una capacidad instalada para manufacturar paneles solares para generar 1,727.5 MW (gráfica 3.17) —alrededor de 2% de la capacidad de manufactura a nivel mundial—.

**GRÁFICA 32. CAPACIDAD INSTALADA DE FABRICACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN MÉXICO (MW)**



Fuente: Elaborado por GIZ a partir de información de BNEF.

## 2.5 PERFIL DE MANUFACTURA DE TECNOLOGÍA FOTOTÉRMICA EN MÉXICO

Desde hace varias décadas, los fabricantes mexicanos han acumulado una amplia experiencia en la fabricación de colectores solares planos, y hasta 2008 suministraban la mayor parte de la demanda del mercado nacional.

De acuerdo con la publicación *World Map of Solar Thermal Industry 2015*, la producción de colectores solares planos y de tubos evacuados en México ascendió a 265 mil metros cuadrados en 2014 (Tabla 3.3).

Ese año comenzaron a ensamblarse en México colectores de tubos evacuados de manera masiva (16,000 metros cuadrados) y la empresa Frantor dio inicio a la producción piloto de tubos evacuados (93,600 metros cuadrados). A nivel global, China domina la producción de colectores de tubos evacuados.

**TABLA 6. PRODUCCIÓN DE COLECTORES SOLARES EN MÉXICO DURANTE 2014 (M<sup>2</sup>).**

Empresa	Colectores Solares Agua			Colectores Solares Agua		TOTAL [m2]
	No vidriado	Colectores placa plana*	Colectores tubos evacuados**	No vidriado	Vidriado	
Módulo Solar		79,300			900	80,200
Frantor			93,600			93,600
Desarrollo		24,000	16,000			40,000
IUSA		18,000				18,000
Captasol		17,000			12,000	29,000
Sunway		2,200				2,200
Oro Solar		2,200				2,200
Kioto Clean Energy		N.D.				N.D.
<b>Total</b>		<b>142,700</b>	<b>109,600</b>		<b>12,900</b>	<b>265,200</b>

\* Metros cuadrados producidos en 2014.

\*\* Área bruta de colectores de tubos de vacío producida en 2014

Fuente: World Map of Solar Thermal Industry 2015. Sun & Wind Energy, junio 2015.

Hasta la fecha de elaboración de este documento, no se tenía registro de análisis robustos del perfil de manufactura de tecnologías fototérmicas (valor agregado, comercio, tamaño del mercado y capacidad de manufactura) en México. A diferencia de lo que ocurre en el sector fotovoltaico, para el sector fototérmico no existen metodologías ni estructuras de intercambio de información bien establecidas entre de agencias del gobierno federal y del sector privado, para monitorear el desarrollo de este mercado en el país.

A partir de análisis básicos de la balanza comercial de calentadores solares de agua de tubos evacuados y colectores planos (metálicos y plásticos), se han construido indicadores que podrían servir para comparar, de manera preliminar, el perfil de manufactura de componentes de sistemas fototérmicos con los componentes fotovoltaicos.

En términos generales, se estima que en 2014, México importó 24.6 millones de dólares y exportó únicamente 10,000 dólares de colectores solares de agua. Prácticamente el volumen total de las importaciones —en su mayoría de calentadores solares de tubos evacuados provenientes de China (24.2 millones de dólares)— se destina al mercado nacional.

Entre 2014 y 2016, la importación de colectores solares de tubos evacuados creció a una tasa promedio anual de 17%. En 2016, la importación de equipos provenientes de China alcanzó un valor de 33.1 millones de dólares. Además de China, los principales proveedores de México son España, Alemania y Francia. Las exportaciones mexicanas de esta tecnología registran un valor relativamente bajo (86,000 dólares en 2016) en comparación con las importaciones, con Estados Unidos su principal destino.

**TABLA 7. VALOR DEL COMERCIO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA EN 2016 (MILES DE DÓLARES)**

Tecnología	Importaciones			Exportaciones		
	2014	2016	% Imp. 2016	2014	2016	% Exp. 2016
Calentadores solares de agua (placa metálica o plástica)*	-335	-666.0	2%	9.7	84.5	47%
Calentadores solares de agua (tubos evacuados)**	-24,237	-33,170.3	98%	0.457	93.6	53%
Total	-24,572	-33,836.4		10.16	178.2	

\*Fracción arancelaria 8419.19.03

\*\*Fracción arancelaria 8419.19.02

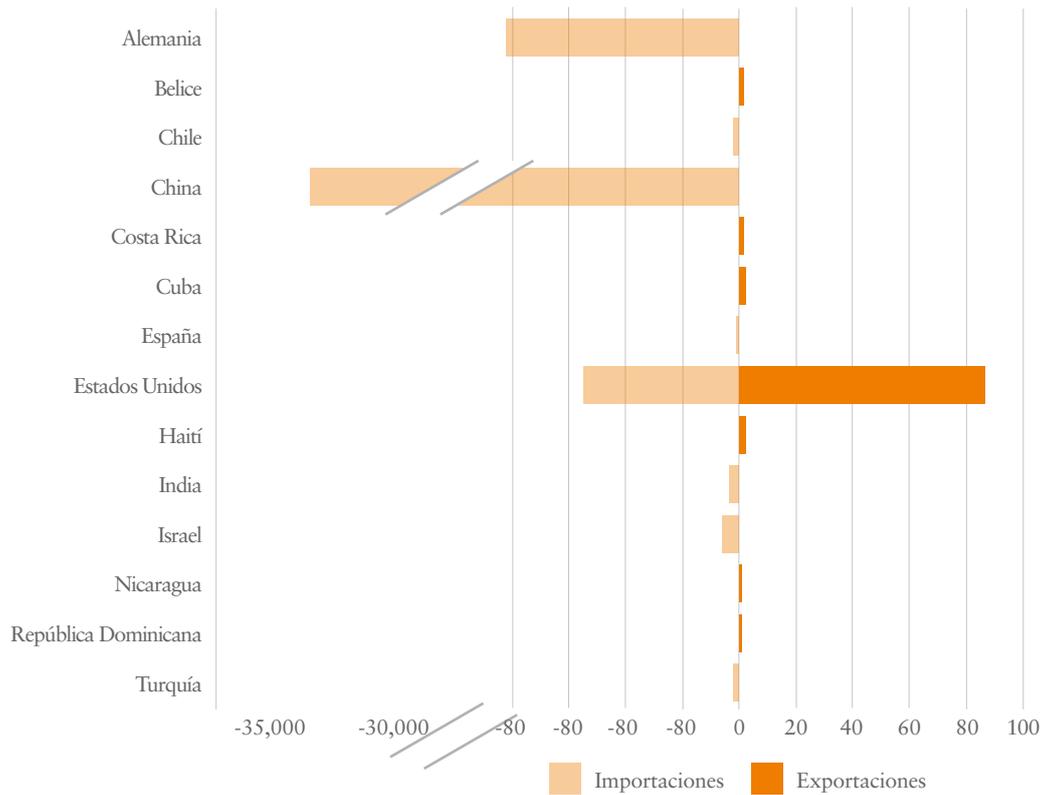
Fuente: Elaborado por GIZ a partir estadísticas anuales de 2016, Sistema de información arancelaria vía internet, SE.

**TABLA 8. BALANZA COMERCIAL DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA DE TUBOS EVACUADOS EN DISTINTOS PAÍSES, EN 2016 (MILES DE DÓLARES)**

País	Importaciones	Exportaciones
Alemania	-82.0	0.0
Belice	0.0	1.5
Chile	-2.3	0.0
China	-33,018.2	0.0
Costa Rica	0.0	1.3
Cuba	0.0	1.9
España	-0.7	0.0
Estados Unidos	-55.2	86.4
Haití	0.0	2.0
India	-3.4	0.0
Israel	-6.6	0.0
Nicaragua	0.0	0.2
República Dominicana	0.0	0.3
Turquía	-1.9	0.0
Total	-33,170.3	93.6

Fuente: Elaborado por GIZ a partir de datos del Sistema de información arancelaria vía internet, SE. Estadística anual de 2016 (enero-diciembre) de la fracción arancelaria 8419.19.02 (calentadores solares de agua de tubos evacuados).

**GRÁFICA 33. BALANZA COMERCIAL DE MÉXICO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA DE TUBOS EVACUADOS 2016 (MILES DE DÓLARES)**



*Fuente: Elaborado por GIZ a partir de datos del Sistema de información arancelaria vía internet, SE. Estadística anual de 2016 (enero-diciembre) de la fracción arancelaria 8419.19.02 (calentadores solares de agua de tubos evacuados).*

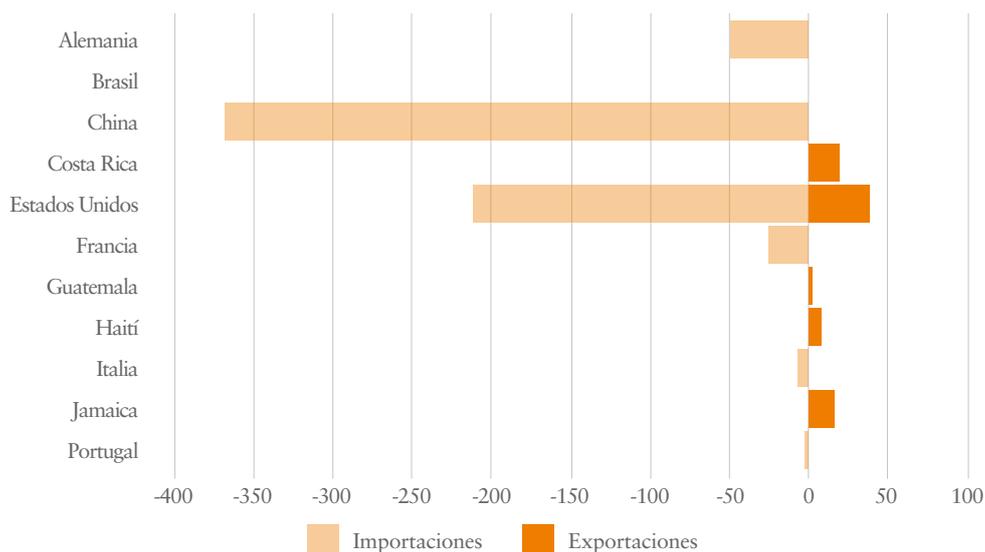
En 2016, los principales proveedores de colectores solares planos para México fueron China, Alemania y Estados Unidos, países de donde el país importó un monto total de 666,000 dólares. Hasta ahora, pocas empresas mexicanas exportan esta tecnología; con Estados Unidos, Costa Rica, Jamaica y Haití, como principales mercados de destino, las exportaciones mexicanas de colectores solares planos alcanzan un valor mucho menor al que se registra en la exportación de colectores solares de tubos evacuados.

**TABLA 9. IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES EN 2016 DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA DE PLACA PLANA (METÁLICOS O PLÁSTICOS) EN DISTINTOS PAÍSES (MILES DE DÓLARES)**

País	Importaciones	Exportaciones
Alemania	-49.5	0.0
Brasil	-1.6	0.0
China	-368.0	0.0
Costa Rica	0.0	18.8
Estados Unidos	-212.0	39.0
Francia	-26.5	0.0
Guatemala	0.0	1.6
Haití	0.0	8.4
Italia	-6.5	0.0
Jamaica	0.0	16.7
Portugal	-2.0	0.0
<b>Total</b>	<b>-666.0</b>	<b>84.5</b>

Fuente: Elaborado por GIZ a partir de datos del Sistema de información arancelaria vía internet, SE. Estadística anual de 2016 (enero-diciembre) de la fracción arancelaria 8419.19.02 (Calentadores solares de agua, de placas metálicas o plásticas).

**GRÁFICA 34. BALANZA COMERCIAL DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA DE PLACA PLANA (METÁLICOS O PLÁSTICOS) EN MÉXICO, 2016**



Fuente: Elaborado por GIZ a partir de datos del Sistema de información arancelaria vía internet, SE. Estadística anual de 2016 (enero-diciembre) de la fracción arancelaria 8419.19.03 (calentadores solares de agua de tubos evacuados).

## 2.6 TAMAÑO DEL MERCADO

No existe información precisa por parte de la industria manufacturera nacional respecto al volumen anual de negocios que representa en el mercado nacional. Considerando la capacidad de manufactura del país en 2014, se estima que el valor de la producción nacional era de alrededor de 25 millones de dólares anuales, y que la balanza comercial de tecnologías termo solares fue de 24 millones de dólares, se calcula que el mercado mexicano tiene un valor cercano a 50 millones de dólares anuales.

**CAPÍTULO 3**





# IMPULSORES PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA SOLAR EN MÉXICO

---

Para el desarrollo del presente MR, se contó con el apoyo y experiencia internacional del principal centro de investigación en energía solar en Europa, el Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energía Solar ISE. Con base en la experiencia de dicho instituto en el desarrollo de otros MR, se utilizó un esquema de análisis de impulsores (*drivers*) clave para la implementación exitosa.

En este capítulo se identifican los principales impulsores para el despliegue acelerado de la energía solar, tanto en su forma fototérmica como fotovoltaica, así como sus expectativas en el mediano y largo plazo. Es importante insistir que el sector energético ha sufrido una transformación profunda en los últimos años, misma que ha tenido consecuencias notables para la industria de la energía solar en México.

En el presente capítulo se abordan diversos aspectos del mercado solar mexicano, desde la oferta y la demanda, hasta factores que influyen en su desarrollo, entre los que se encuentran:

- Nuevo modelo del sector energético.
- Mercado solar mexicano, oferta y demanda.
- Potenciales para la implementación de la energía solar.
- I+D.
- Calidad de productos.
- Capital humano.
- Formulación de la agenda y toma de decisiones.

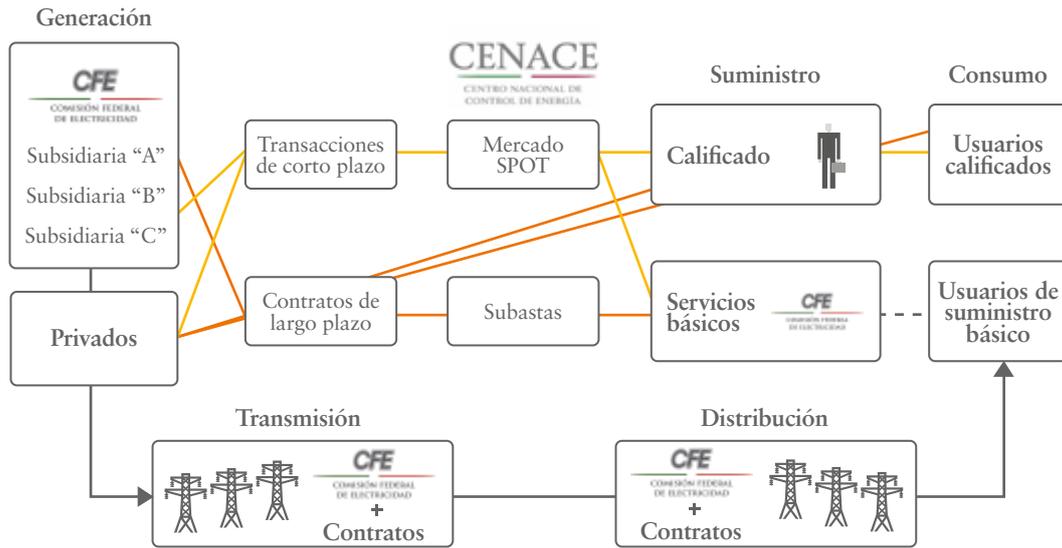
## 3.1 NUEVO MODELO DEL SECTOR ENERGÉTICO

Por muchos años, el desarrollo del sector energético en México dependió de los requerimientos de nueva infraestructura de las grandes empresas paraestatales para satisfacer la demanda de energía del país. En el caso del sector eléctrico, el sector privado no podía participar en mercados abiertos; su participación se limitaba al desarrollo proyectos para venta de energía exclusivamente a la CFE, y proyectos de autoabastecimiento de energía para usuarios finales.

La reforma energética de 2013-2014 estableció un nuevo modelo en todo el sector, desde el subsector de hidrocarburos hasta el eléctrico, para dar cabida a la participación de actores privados.

La puesta en marcha del MEM, a partir de enero de 2016, ha sido uno de los grandes retos de la reforma energética. Ahora, mediante diferentes modalidades de participación, el sector privado puede competir en los mercados de generación y distribución de energía eléctrica en el país.

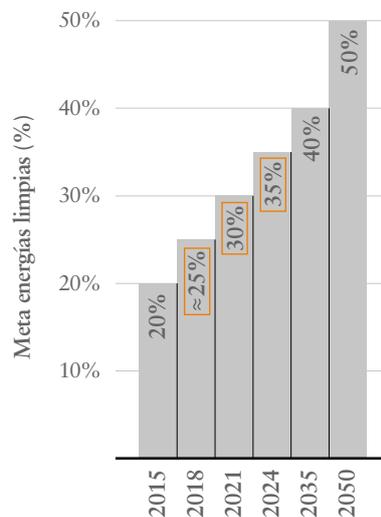
FIGURA 7. NUEVO MODELO DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA EN MÉXICO



Fuente: CENACE, 2015.

La LTE y la LIE —que establecen como metas mínimas de participación de energías limpias en la generación de energía eléctrica 25% para 2018, 30% para 2021 y 35% para 2024— son instrumentos clave para el impulso de la generación de electricidad a partir de energías limpias. Estas metas-país permitirán cumplir con la política en materia de diversificación de fuentes de energía, seguridad energética y la promoción de fuentes de energías limpias.

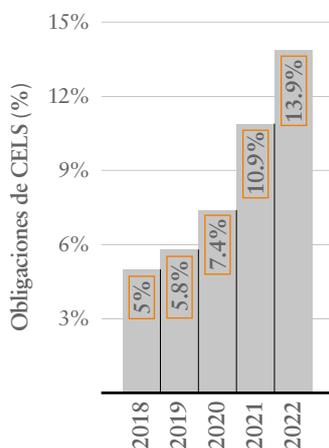
GRÁFICA 35. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE ENERGÍAS LIMPIAS EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO



Como resultado de las reformas estructurales, la SENER cuenta con nuevas atribuciones para implementar mecanismos para alcanzar esas metas. Uno de ellos es el establecimiento de obligaciones de CEL<sup>6</sup> a los suministradores de energía eléctrica (básicos y calificados) y a los usuarios calificados que participen directamente en el MEM. Este instrumento ha enviado señales a los inversionistas y desarrolladores de proyectos para participar en la primera fase del MEM (requisitos de CEL para 2018 y 2019), a través de subastas de energía de largo plazo.

La SENER dio a conocer las obligaciones de CEL para el periodo 2020-2022, con lo cual las nuevas inversiones en energías como la solar y eólica cuentan con la certeza de compra de energía de largo plazo en el mercado para los próximos años.

**GRÁFICA 36. OBLIGACIÓN ANUAL DE ADQUISICIÓN DE CEL (2018-2022)**



Fuente: Elaborado con información de SENER, publicada en el DOF.

Además del marco legal previamente mencionado, los generadores de energía a partir de recursos renovables cuentan con dos incentivos de carácter fiscal. El primero de ellos se establece en la Ley de los Impuestos Generales de Importación y Exportación, de acuerdo con la cual “quedan exentos de pagos los equipos anticontaminantes y sus partes, cuando las empresas se ajusten a los lineamientos establecidos por las secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y de Economía”. El segundo emana de la Ley del Impuesto sobre la Renta, donde se menciona que “las inversiones únicamente se podrán deducir mediante la aplicación, en cada ejercicio, de los porcentajes máximos autorizados por esta Ley, sobre el monto original de la inversión, [...] 100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables”.

Asimismo, la Ley de Cambio Climático brinda una base sólida para reducir emisiones e impulsar la transición hacia una economía competitiva de bajas emisiones de carbono. En esta ley se establece el objetivo indicativo de reducir 30% las emisiones al año 2020 y 50% al año 2050, en relación con las emitidas en el año 2000.

Por último, la SEMARNAT publicó las Contribuciones Nacionales Determinadas (INDC, por sus siglas en inglés) de México, en las que el país se compromete a reducir de manera no condicionada 25% de sus emisiones de GEI y de contaminantes climáticos de vida corta, para 2030. Este compromiso implica una reducción de 22% de GEI y 51% de carbono negro, lo que implica que la intensidad de emisiones por unidad de PIB se reducirá alrededor de 40% de 2013 a 2030.

<sup>6</sup> Un CEL es un título que acredita la producción de energía eléctrica limpia (ampara la generación de 1 MWh de energía eléctrica limpia).

## 3.2 MERCADO

El nuevo modelo energético y las metas que se ha planteado el país en materia de energías limpias, abren paso a nuevas oportunidades de participación en el sector eléctrico.

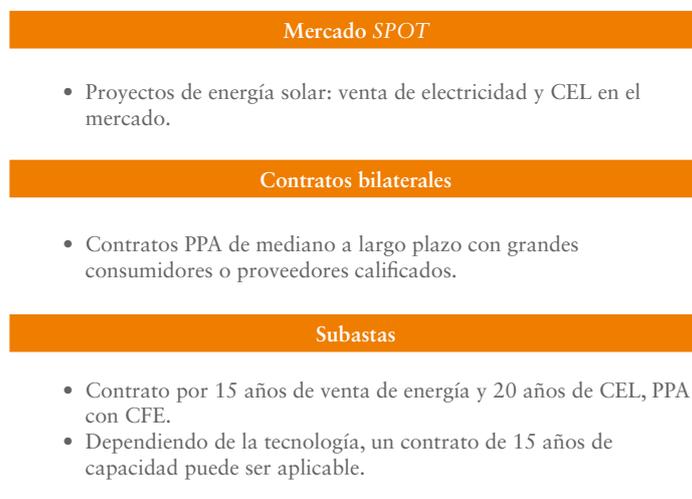
En su primera fase, la operación del nuevo MEM ha dado los primeros resultados con las subastas de largo plazo para adquirir energía limpia, principalmente solar fotovoltaica y eólica.

La demanda de CEL también abre paso a nuevas inversiones públicas y privadas de energía y productos asociados bajo otros esquemas como contratos bilaterales y la participación en el mercado *spot*.

Bajo las nuevas regulaciones, energías como la solar fotovoltaica a gran escala, cuentan con incentivos para su desarrollo y oportunidades de participación, como las que se muestran en la figura 8.

Además de las oportunidades de inversión en centrales solares a gran escala, las nuevas regulaciones

**FIGURA 8. OPORTUNIDADES DE MERCADO PARA LA ENERGÍA SOLAR A GRAN ESCALA EN MÉXICO**

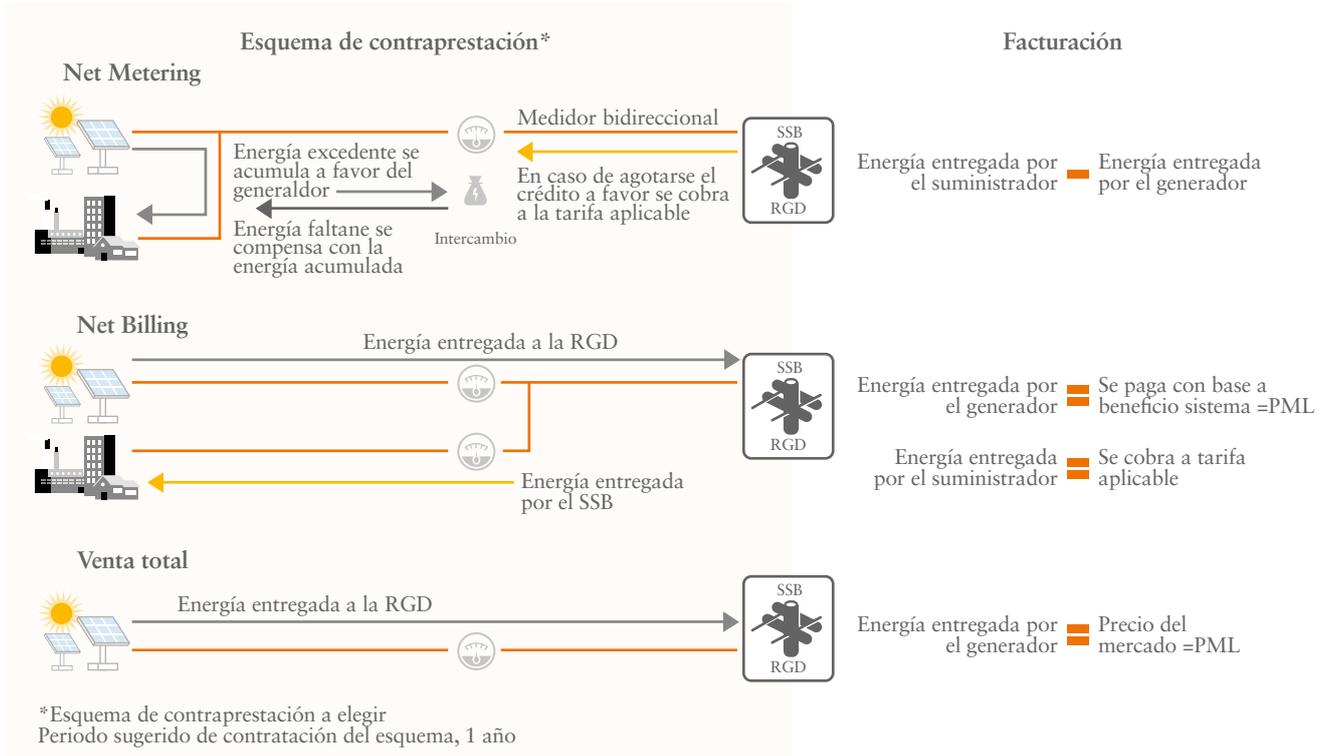


abren paso a inversiones en proyectos de menor tamaño, pero con gran potencial de implementación.

Actualmente, la generación distribuida solar fotovoltaica representa 0.22% del total de capacidad instalada de generación eléctrica en el país. Derivado de los nuevos instrumentos de fomento a la generación distribuida impulsados por la reforma energética, los pequeños generadores cuentan con acceso abierto a las redes de distribución y acceso a los mercados para vender la producción de energía eléctrica y productos asociados.

Bajo este nuevo modelo, se establecen nuevos esquemas de contraprestaciones y modelos de contratos de interconexión simplificados para acceder al mercado eléctrico bajo las opciones de *net metering*, facturación neta (*net billing*) y venta total de energía.

**FIGURA 9. NUEVOS ESQUEMAS DE CONTRAPRESTACIÓN PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN MÉXICO**



Fuente: CRE.

### 3.2.1 Demanda esperada

El crecimiento económico va acompañado de un incremento en el consumo de energía. Se espera que en los próximos años la demanda de energía en México aumente a un ritmo similar al desarrollo económico del país. La demanda actual, en su mayoría satisfecha con energía proveniente de fuentes fósiles, ofrece una gran oportunidad para la inversión en energías renovables. Si a esto se agregan las expectativas de crecimiento, el margen para la implementación de este tipo de tecnologías es todavía mayor.

La apertura del sector energético representa una ventana de oportunidad para la industria solar, ya que cada vez más sectores demandan energías generadas mediante tecnología limpias. Además de los grandes sectores de consumo final —residencial, comercial e industrial—, existen oportunidades en segmentos como el agrícola, el forestal y el pesquero. De igual forma, en los sectores mexicanos que ya emplean energía solar, en sus formas fototérmica y fotovoltaica, ofrecen un margen muy amplio para incrementar la participación de este tipo de energía en el mercado energético nacional.

#### a) Demanda de electricidad

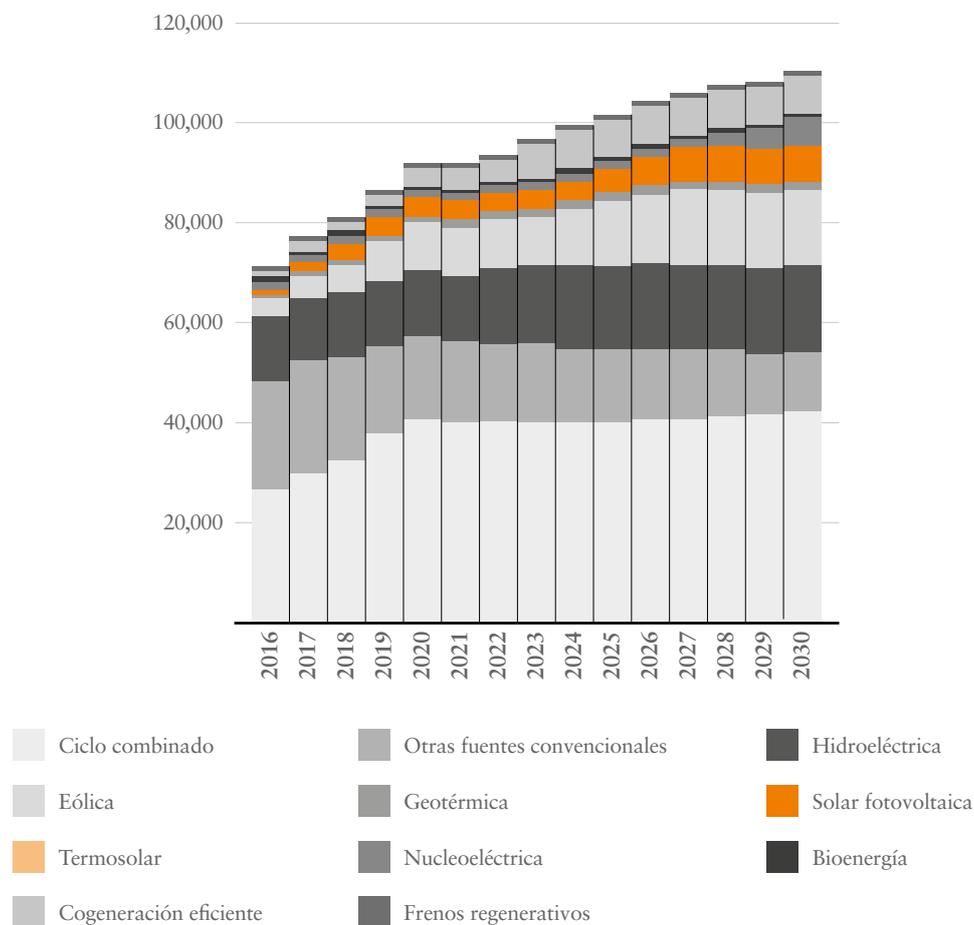
La demanda de electricidad en el SEN registra una tendencia al alza. Con una tasa media de crecimiento anual de 3.7%, se espera que para 2030 la capacidad instalada en el SEN alcance 109 GW.

Se prevé que en las regiones Baja California Sur, noroeste, noreste y peninsular la demanda de energía crecerá a una tasa de crecimiento anual superior a la media del SEN (SENER, 2017). Aunque se estima que gran parte de la generación para satisfacer esta demanda provendrá de fuentes

fósiles, no se prevén crecimientos significativos en estas fuentes, mientras que la energías limpias registrarán tasas de crecimiento altas en los próximos 15 años.

La gráfica 37 muestra las expectativas de crecimiento en la capacidad instalada por tipo de tecnología de limpia.

**GRÁFICA 37. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD TOTAL INSTALADA EN MÉXICO, POR TIPO DE TECNOLOGÍA LIMPIA (2016-2030)**

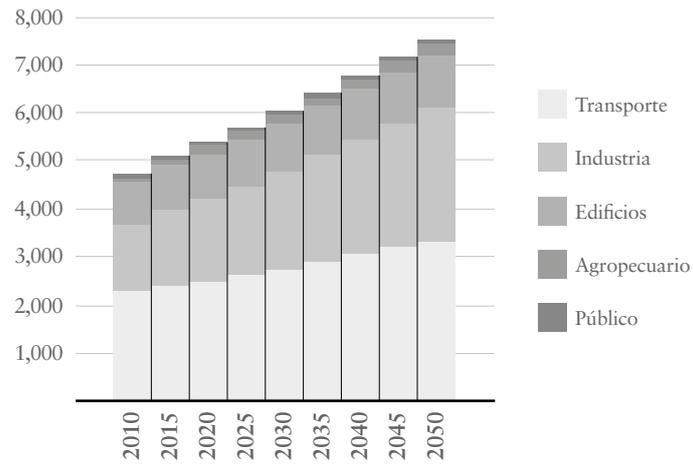


*Nota: No incluye la capacidad instalable de generación distribuida.  
Fuente: Elaborado por GIZ con datos de SENER.*

### **b) Demanda en los sectores de uso final**

Como se observa en la gráfica 38, se esperan aumentos en el consumo de energía, sobre todo con fines térmicos, en los sectores de consumo final —industrial, residencial y comercial—, lo que representa una oportunidad para el desarrollo de la energía solar térmica. Durante los próximos años, los sectores de transporte, industrial y residencial se mantendrán como los mayores consumidores de energía en el país.

**GRÁFICA 38. CONSUMO FINAL ENERGÉTICO TOTAL POR SECTOR (ESCENARIO BASE\*), 2016-2050 (PETAJOULES)**



Fuente: SENER.

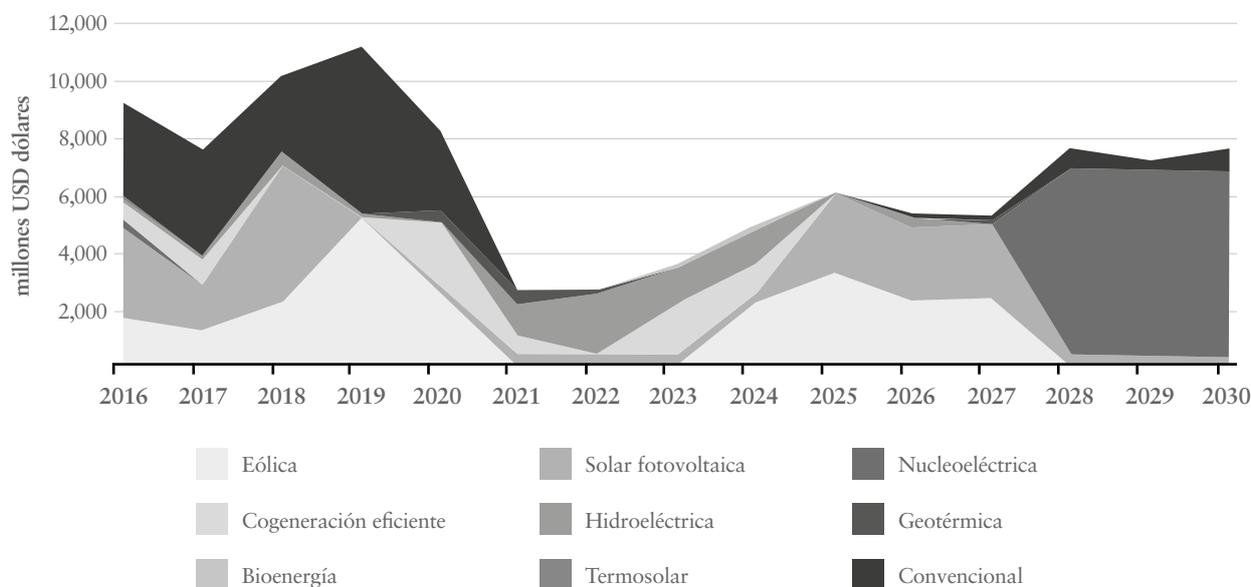
### 3.3 POTENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Con base en la demanda esperada, México cuenta con gran potencial para la implementación de energía solar fotovoltaica y fototérmica. A continuación, se describen algunos elementos que dan cuenta de ello.

#### 3.3.1 Sector eléctrico/gran escala

La generación de electricidad a partir de energía solar representa uno de los subsectores más atractivos de la industria de la energía solar en México. La energía solar fotovoltaica es la fuente de energía eléctrica con más rápido crecimiento, con una tasa de crecimiento anual de 27.2% —superior a cualquier otra tecnología, incluso la eólica, que por muchos años se había mantenido a la cabeza—, por lo que se espera pasar de los 170 MW instalados actualmente a 6,890 MW hacia el año 2030.

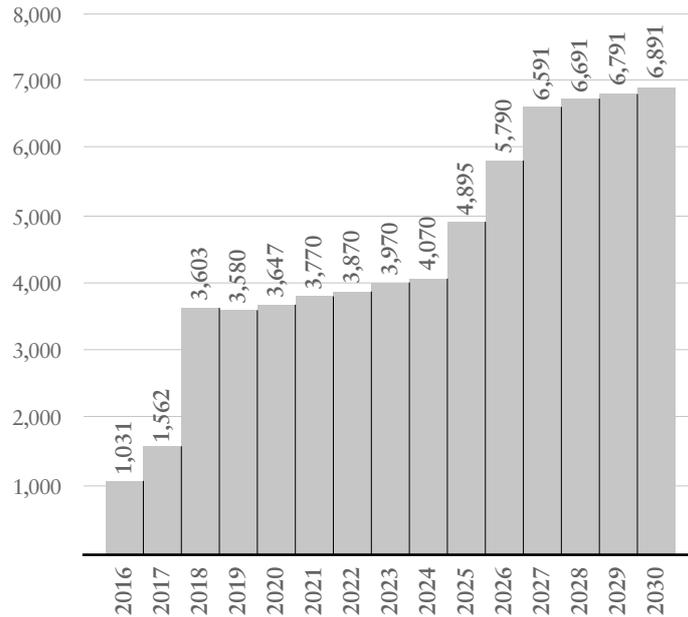
**GRÁFICA 39. EVOLUCIÓN DE LA INVERSIÓN ESTIMADA EN GENERACIÓN POR TECNOLOGÍA 2016-2030 (MILLONES DE DÓLARES)**



*Inversión estimada de acuerdo con los parámetros de costos y perfiles de construcción típicos, utilizados para los proyectos contemplados en el PIIRCE. Los totales pueden no coincidir por redondeo. Tipo de Cambio: 17.06 pesos por dólar. No incluye generación distribuida.*

*Fuente: Elaborado por SENER con datos de CFE y CRE.*

## GRÁFICA 40. CAPACIDAD ADICIONAL ACUMULADA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN MÉXICO (MW)



*Nota: Incluye proyectos comprometidos por parte de CFE, autoabastecimiento, pequeños productores y proyectos ganadores en la primera y segunda subastas de energía de largo plazo. No incluye la incorporación adicional de capacidad solar fotovoltaica en la modalidad de generación distribuida.*

*Fuente: PRODESEN 2016-2030. SENER, 2016*

Se estima que los modelos de planeación del sector eléctrico evolucionarán de manera dinámica, acelerando la incorporación de la curva de aprendizaje en los costos que refleja el mercado de la energía solar fotovoltaica en México. Por otra parte, se prevé que los costos de capital, financieros y costos nivelados de energía de proyectos solares a gran escala en México, serán incorporados en los modelos de planeación de SENER, una vez que dichos proyectos hayan concluido el proceso de validación por parte de las instituciones financieras que los respaldan. Con ello, los costos reales que enfrenten los desarrolladores de energía solar en el mercado podrán ser incorporados en la planeación del sector, ya que al día de hoy existen en operación cuatro proyectos solares a gran escala mayores a 10 MW en el país.

La proyección de crecimiento de la energía solar fotovoltaica que se muestra en la gráfica 40 sólo contempla la incorporación de centrales a gran escala. Hasta ahora, los modelos de planeación del sector eléctrico empleados en el PRODESEN (Subsecretaría de Electricidad, SENER) no contemplan la expansión de la generación distribuida; sin embargo, se prevé que en las próximas ediciones del PRODESEN se incorporarán módulos de planeación del crecimiento de la generación distribuida, una vez que se haya definido la política específica que actualmente elabora la SENER.

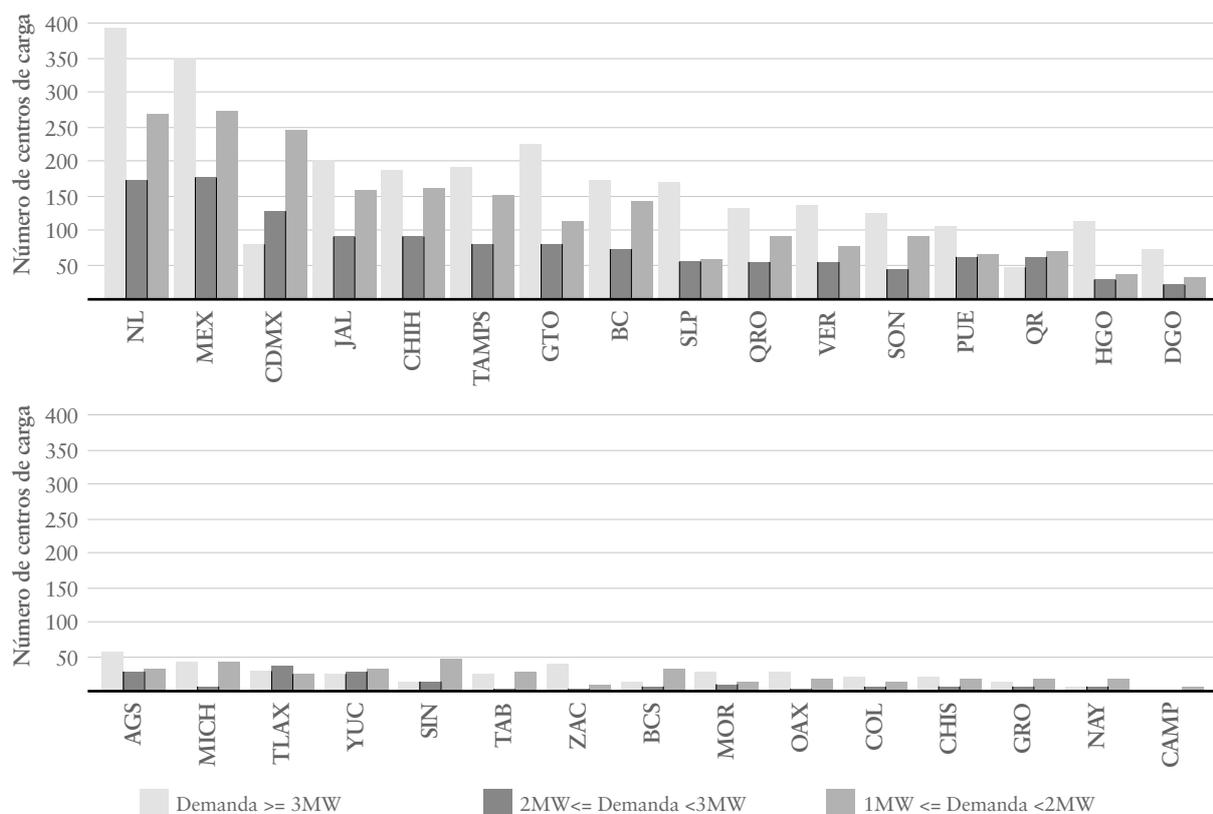
Además del potencial de crecimiento de la energía solar fotovoltaica a gran escala a través de subastas de largo plazo, el mercado eléctrico abre la oportunidad para que grandes usuarios de energía (usuarios calificados) tengan acceso a un mercado con múltiples suministradores en competencia. Así, los usuarios calificados pueden obtener precios competitivos y tienen la libertad de negociar plazos y precios mediante contratos bilaterales.

Derivado de las nuevas regulaciones, la CRE creó el Registro de Usuarios Calificados, obligatorio para usuarios con demanda igual o mayor a 1 MW.

De acuerdo con este registro, en México existen 4,100 usuarios calificados, quienes, si así lo deciden, tienen la opción de adquirir energía a través del MEM. Además, la CRE ha identificado

más de 7,000 usuarios del servicio de suministro eléctrico con demanda máxima mayor a 1 MW por estado, según el nivel de demanda, los cuales pueden participar en el MEM para beneficiarse de costos competitivos, mediante la adquisición o instalación de centrales fotovoltaicas.

**GRÁFICA 41. DISTRIBUCIÓN DE USUARIOS DEL SERVICIO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO CON DEMANDA MÁXIMA MAYOR A 1 MW POR ENTIDAD FEDERATIVA, SEGÚN EL NIVEL DE DEMANDA**



Fuente: Elaborado por CRE con base en información del periodo de agosto 2015 a julio de 2016 provista por la CFE. La información no distingue entre usuarios obligados y no obligados o si el origen del suministro es bajo la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica o bajo la LIE.

### 3.3.2 Generación distribuida

Antes de la reforma energética, sólo existía la posibilidad de generar electricidad para autoabastecimiento mediante pequeñas instalaciones. Si bien este esquema podía resultar competitivo para algunos segmentos, tomando como referencia las tarifas eléctricas, la regulación en la materia no permitía que los usuarios comercializaran la energía excedente en el mercado.

Con la reforma energética, los proveedores acreditados pagan un precio regulado por la energía excedente y los proveedores no regulados pueden comprar a todos los usuarios a precios de mercado; es decir, la generación distribuida obtendrá un pago justo.

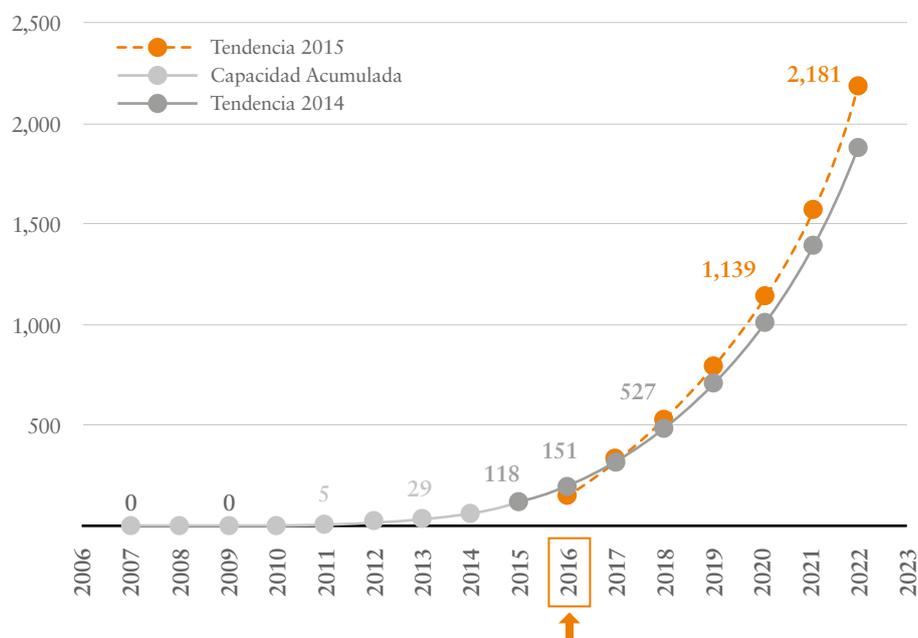
De acuerdo con estimaciones de la SENER y la CRE, la generación distribuida y los nuevos instrumentos abatirán costos e impulsarán la energía limpia. Así, la participación de la generación distribuida en la matriz energética podría pasar de 0.23% a alrededor de 5%.

En México, la generación distribuida ha tenido un crecimiento muy dinámico. A finales de 2015, alcanzó cerca de 120 MW instalados, en contratos de interconexión legados. La capacidad

instalada se duplicó de 2014 a 2015, con una participación dominante de la energía solar (casi 97% del total), seguida por proyectos de generación con biogás y biomasa (3% del total) —el resto está distribuido entre aerogeneradores pequeños y proyectos híbridos (solar y eólico)—.

La CRE estima que la generación distribuida podría alcanzar una capacidad instalada cercana a los 2.2 GW hacia el año 2022 —antes a la reforma energética, se estimaba que esta cifra se alcanzaría hasta el año 2028—.

**GRÁFICA 42. CAPACIDAD INSTALADA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y TENDENCIA DE CRECIMIENTO A 2022**



*Nota: Elaborado con información proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad al cierre del primer trimestre de 2016.*

*Fuente: CRE.*

Un primer análisis de la SENER, elaborado en 2017, sobre los beneficios de la generación limpia distribuida, muestra que la instalación de paneles solares con capacidad individual de 1 kW en 680,000 hogares permitiría ahorrar 1,500 millones de pesos al año, reducir el consumo de electricidad hasta en 75%, evitar alrededor de 1.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y ahorrar 680 millones de litros de agua al año.

### 3.3.3 Energía solar fototérmica

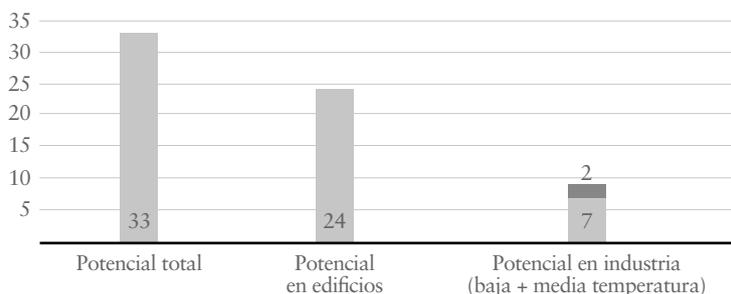
En comparación con la energía solar fotovoltaica a gran escala, la energía solar fototérmica ha recibido menor atención dentro de la reforma energética; sin embargo, es la tecnología solar más arraigada en el mercado mexicano y la que ha aportado más energía a la matriz energética del país en los últimos años.

Hasta 2015, la superficie total instalada de CSA ascendía a poco más de 3 millones de metros cuadrados. De mantenerse el ritmo de crecimiento que registró la energía solar fototérmica en el periodo 2010-2015 —en términos de superficie total instalada y nueva superficie instalada anualmente—, se estima que en 2020 esta tecnología podría alcanzar una superficie total instalada de entre 5 millones y 6 millones de metros cuadrados.

Si bien en los últimos años se ha registrado una tendencia al alza, el potencial del país para la tecnología fototérmica es mucho mayor. De acuerdo con un estudio realizado en 2015 por la Agencia IRENA y SENER, se estima que existe un potencial solar fototérmico de 33 GW distribuido en los sectores industrial y de edificios (SENER / IRENA REMAP 2030 México). El potencial de agua caliente sanita-

ria y enfriamiento en edificaciones asciende a 24 GW, mientras que en el sector industrial se calcula un potencial de 9 GW —80% de ellos en la industria manufacturera—; 7GW (≈ 10.3 millones de metros cuadrados) se ubican en el sector de baja temperatura —en procesos típicos de las industrias textil y de alimentos, por ejemplo— y 2GW (≈ 2.9 millones de metros cuadrados) se encuentran en procesos de temperatura media, para los que se requieren sistemas de concentración.

**GRÁFICA 43. POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN MÉXICO (GW), 2015-2030**



*Fuente: Elaborado por GIZ con información de IRENA (2015).*

De acuerdo con el mismo estudio, el costo promedio de sustitución de fuentes convencionales de energía resulta altamente atractivo, en primera instancia, para las opciones de energía solar térmica en edificaciones y en procesos industriales.

Aun cuando no se han definido metas nacionales de penetración de la energía fototérmica en México, existen programas públicos que promueven esta tecnología. En el marco de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, se han establecido acciones concretas para la energía solar, por lo que se prevé que la participación de esta fuente en la matriz energética del país sea cada vez mayor. Estas acciones abarcan regulaciones y política pública, capacidades técnicas y recursos humanos, instituciones, mercados y financiamiento, e investigación, desarrollo e innovación.

Las acciones nacionales se verán fortalecidas por la cooperación internacional a través de proyectos globales como Solar Payback, que cuenta con el apoyo financiero de la Iniciativa Climática Internacional (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) de Alemania. Solar Payback busca aprovechar la energía solar para calor de procesos en la industria, disminuir el consumo de combustibles fósiles y reducir emisiones de CO<sub>2</sub> en cuatro países: México, Brasil, Sudáfrica e India. El proyecto se implementará de 2016 a 2019, a cargo de la Asociación de la Energía Solar Alemana (BSW), Fraunhofer Institut für Solare Energie Systeme, Sociedad Alemana de Inversión y Desarrollo (DEG) y Solrico.

En el caso de México, los socios del proyecto son la ANES y la Cámara Mexicano-Alemana de Comercio e Industria.

Se trata de un proyecto integral que incluye la aplicabilidad y viabilidad económica, la instalación de la tecnología y la difusión mediante material informativo, cursos de formación y conferencias.

### 3.4 I+D

El impulso a la investigación, desarrollo e innovación en materia de energía tomó auge a partir de 2011. Desde ese año hasta 2015, el Fondo de Sustentabilidad Energética apoyó a por lo menos 19 proyectos de I+D tecnológico (tabla 10), con un total de 1,000 millones de pesos —además, se han alcanzado recursos concurrentes adicionales por 48 millones de pesos—.

En sus primeras etapas, la estrategia de acción global del Fondo de Sustentabilidad Energética busca fortalecer la formación estratégica de recursos humanos y la infraestructura de I+D tecnológico de las universidades y centros de investigación nacionales.

Una vez consolidadas las capacidades nacionales, los centros de investigación habrán alcanzado la etapa de madurez para desarrollar y transferir productos y servicios de base tecnológica relacionados con la energía solar, para acelerar la vinculación y desarrollo de la ISM.

FIGURA 10. ESTRATEGIA DE ACCIÓN GLOBAL DEL FONDO DE SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA



De acuerdo con el informe público detallado más reciente del Fondo de Sustentabilidad Energética<sup>7</sup>, que comprende las actividades hasta el cierre de 2015, tres proyectos han finalizado y se han obtenido los primeros resultados para la generación de infraestructura nacional para el desarrollo e investigación de celdas solares, registro de patentes nacionales y formación de investigadores.

<sup>7</sup> [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/161598/Informe\\_3.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/161598/Informe_3.pdf)

**TABLA 10. PROYECTOS DE I+D TECNOLÓGICO EN MATERIA DE ENERGÍA SOLAR APOYADOS POR EL FONDO DE SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA, 2011-2105**

Proyecto	Nombre del proyecto	Institución líder	Fecha de aprobación	Duración	Recursos Fondo/ Concurrentes (pesos)	Avance a diciembre de 2015
117891	Procesamiento de módulos fotovoltaicos de CDTE/CDS de baja potencia para su transferencia tecnológica al sector industrial	UNAM / IER	Febrero de 2011	51 meses	6'442,896.00 / 2,757,000.00	Técnico: 93.33% / Administrativo: 88.01%
117914	Desarrollo de sistemas de aire acondicionado solar para zonas costeras de México	UNAM / IER	Febrero de 2011	57 meses	4'190,000.00 / 1'800,000.00	Técnico: 73.3% / Administrativo: 67.8%
150111	Desarrollo de celdas solares nano cristalinas de multicapa ultra delgada	Universidad Autónoma de Nuevo León	Septiembre de 2011	35 meses	400,000.00	Finalizado
151076	Fabricación de celdas solares de aleaciones semiconductoras basadas en Ga(in)N	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados / Instituto Politécnico Nacional	Noviembre 2011	49 meses	9'929,408.00 / 1'041,514.00	Técnico: 100% / Administrativo: 98.5%
152244	Celdas solares fotovoltaicas basadas en películas Ge(x)Si(1-x): depositadas por plasma sobre sustratos de plástico	Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica	Septiembre de 2011	38 meses	14'572,859.00 / 0.00	Finalizado
152474	Calibración de una red nacional de sensores de radiación solar y de su base de datos (recobro, validación y publicación de 133 estaciones)	UNAM / Instituto de Geofísica	Noviembre de 2011	44 meses	16'638,755.00 / 0.00	Técnico: 66.67% / Administrativo: 71.57%
153094	Diseño y desarrollo de celdas orgánicas (OPVs) eficientes para la generación de energía eléctrica limpia	Centro de Investigaciones en Óptica	Septiembre de 2011	44 meses	8'542,500.00	Finalizado
207450	Centro Mexicano de Innovación de Energía Solar	UNAM / IER	Marzo de 2014	48 meses	452'893,843.97 / 9'817,000	Técnico: 24.4% / Administrativo: 36%
231461	Laboratorio de innovación para la producción de combustibles a partir de radiación solar como fuente primaria de energía	Instituto Politécnico Nacional	Junio de 2015	36 meses	26,600,000	0%
256766	Desarrollo de celdas solares de estado sólido de alto desempeño basado en Perovskitas híbridas bidimensionales utilizando cationes orgánicos alternativos	Universidad Autónoma de Nuevo León	Diciembre de 2015	36 meses	7'595,400	0%

Proyecto	Nombre del proyecto	Institución líder	Fecha de aprobación	Duración	Recursos Fondo/ Concurrentes (pesos)	Avance a diciembre de 2015
263043	Implementación de energía termosolar, fotovoltaica y fotocatalítica para la remoción de metales pesados: diseño de planta piloto autosustentable	Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional / Universidad Mexiquense Bicentenario	Diciembre de 2015	36 meses	27'017,871	0%
246259	Diseño, construcción y equipamiento de laboratorio experimental y de educación en energía solar fotovoltaica, térmica e hidrogeno	Universidad Tecnológica de Hermosillo Sonora	Diciembre de 2015	12 meses	19'253,639	0%
249606	Fortalecimiento de las capacidades e infraestructura de un laboratorio para la investigación científica y desarrollo tecnológico en el área del aprovechamiento de la energía térmica solar	Universidad Autónoma de Querétaro	Diciembre de 2015	12 meses	16'038,268.91 / 608,666.66	0%
249714	Diseño e instalación de un sistema fotovoltaico de 250 kWp para la generación de energía eléctrica en la Universidad Popular de Chontalpa	Universidad Popular de Chontalpa	Octubre de 2015	8 meses	10'135,383	0%
263488	Diseño e instalación de un laboratorio de pruebas y certificación para colectores solares destinados al calentamiento de agua	UACM	Octubre de 2015	24 meses	8'371,768	0%
266632	Laboratorio binacional para la gestión inteligente de la sustentabilidad energética y formación tecnológica	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Diciembre 2015	36 meses	328'154,558 / 32'779,659	0%
245467	Materiales híbridos nano estructurados y multifuncionales como electrodos para celdas solares	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica	Junio de 2015	12 meses	931,388	0%
245754	Predicción, síntesis, elaboración y calibración de celdas fotovoltaicas y baterías de flujo	UNAM / Coordinación de Investigación Científica / Facultad de Química	Junio de 2015	12 meses	38,818,000	0%
245811	Desarrollo de celdas fotovoltaicas orgánicas híbridas con materiales nano-estructurados para incrementar la eficiencia y disminuir la degradación	Universidad Autónoma de Querétaro	Junio de 2015	12 meses	7,527,800	0%

Fuente: Fondo Sectorial Conacyt-SENER-Sustentabilidad Energética.

El resto de proyectos estratégicos apoyados por el Fondo se encuentran en su etapa de ejecución y se prevé que durante 2018 se alcance el mayor número de resultados en I+D (84% de apoyos económicos provenientes del Fondo).

**TABLA 11. RECURSOS DE APOYO A PROYECTOS DE I+D PROVENIENTES DEL FONDO DE SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA Y AÑO DE FINALIZACIÓN**

Apoyo del FSE	Año de finalización
\$14,972,859	2014
\$45,743,559	2015
\$92,704,478	2016
\$8,371,768	2017
\$841,661,672	2018

*Fuente: Elaborado por GIZ a partir de información del Fondo Sectorial Conacyt-SENER-Sustentabilidad Energética.*

En 2014 se crearon los CEMIE, como línea estratégica de SENER y Conacyt para fortalecer las capacidades nacionales en energía geotérmica, solar y eólica. La creación del CEMIE Sol, representa un esquema novedoso ya que reúne a 57 participantes —47 institutos de investigación y educación superior, y 10 empresas privadas líderes—.

El CEMIE Sol ayudará en la creación de tecnologías para mejorar la explotación del recurso solar, el desarrollo de capacidades de emprendimiento y la generación de talento de clase mundial.

Entre sus líneas de investigación, el CEMIE Sol incluye el mapeo del recurso solar, I+D de materiales, celdas solares y módulos fotovoltaicos, combustibles solares, calor de proceso y calor para electricidad. Estas temáticas se integran en dos grandes áreas: la fototérmica y la fotovoltaica.

El apoyo económico del Fondo de Sustentabilidad Energética al CEMIE Sol representa una de las mayores inversiones que se han realizado hasta ahora en materia de I+D en materia solar; el CEMIE Sol cuenta 452.8 millones de pesos de apoyo directo y 9.8 millones de pesos de recursos concurrentes. Al finalizar el periodo de ejecución del CEMIE Sol sujeto al apoyo del Fondo, se esperan los siguientes entregables:

- Creación de alianzas de innovación en temas emergentes de energía solar que permitan el desarrollo científico y tecnológico en el área.
- Creación de un modelo de innovación que permita la gestión de los desarrollos del CEMIE Sol.
- Diseño de un portafolio de proyectos que cumpla con las demandas actuales en el tema de energía solar y logre el desarrollo de tecnología y conocimiento en el área.
- Establecimiento de capacidades técnicas y de investigación a nivel nacional e internacional.
- Impulsar en todos los sectores el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento y uso de energía eléctrica a través del fortalecimiento de mecanismos de operación y del diseño de nuevas tecnologías.
- Favorecer el desarrollo de la industria nacional (investigadores, diseñadores, fabricantes, distribuidores e instaladores) por medio de la creación de equipos de alta tecnología para el aprovechamiento de la energía solar.
- Al menos 15 patentes registradas.
- Diseño y construcción de 5 prototipos de tecnologías.
- Publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales.
- Aumento de formación de talento.
- Equipamiento de alto nivel científico y tecnológico.
- Aumento en la actividad industrial.

Las actividades del CEMIE Sol se enmarcan en la ejecución de 22 proyectos (ver tabla 4.3), y se estima que la inversión en la formación de recursos humanos será de 75 millones de pesos<sup>8</sup>.

A diciembre de 2015, el CEMIE Sol presentaba un avance de 24.4% —378 entregables finalizados respecto a 1,507 entregables comprometidos del proyecto—.

**TABLA 12. PROYECTOS ESTRATÉGICOS DEL CEMIE SOL**

Clave	Proyecto estratégico	Avance administrativo	Avance técnico
P03	Producción de electricidad solar mediante sistemas de disco parabólico, a partir de fotoceldas de alta eficiencia y dispositivos termoiónicos avanzados	34%	40%
P05	Desarrollo de tanques de almacenamiento de energía solar térmica	39%	22%
P09	Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con energía solar	27%	18%
P10	Combustibles solares y procesos industriales (COSOLPI)	40%	31%
P12	Desarrollo de captadores, sistemas solares y sistemas autocontenidos de baja temperatura con materiales novedosos para México	53%	34%
P13	Laboratorio de pruebas para baja y media temperatura, laboratorio para el diseño e integración de sistemas termosolares asistido por computadora	19%	42%
P16	Inventario Nacional del Recurso Solar (Mapa del Recurso Solar)	0%	25%
P18	Materiales selectivos y reflejantes para sistemas de conversión de energía solar en energía térmica	45%	18%
P21	Recubrimientos autolimpiables de alto desempeño para superficies fotovoltaicas	76%	48%
P22	Diseño y desarrollo de dispositivos fotovoltaicos en la CIACYTUASLP: a base de InGaN cúbico y estructuras de celdas multibanda de GaNAs	75%	27%
P25	Desarrollo de prototipos de módulos fotovoltaicos de CdTe/CdS en área de 100 cm <sup>2</sup> con eficiencia en el rango de 10%, y de sistemas asociados para la fabricación del mismo para su futura transferencia tecnológica	45%	26%
P26	Procesamiento de celdas solares de CdS/Cu (InGa) Se <sub>2</sub> y CdS/Cu <sub>2</sub> ZnSnS <sub>4</sub> para su transferencia tecnológica al sector industrial	0%	8%
P27	Desarrollo y fabricación de módulos de celdas solares de TiO <sub>2</sub> sensibilizadas con colorante (DSC) y puntos cuánticos (QDs), y de orgánicas fotovoltaicas (OPVs)	40%	30%
P28	Nanotecnología aplicada en el desarrollo de películas delgadas y prototipo de celdas solares	56%	21%
P29	Desarrollo de un laboratorio nacional para la evaluación de la conformidad de módulos y componentes de sistemas e instalaciones fotovoltaicas LANEV	15%	29%
P31	Materiales nanoestructurados avanzados para celdas fotovoltaicas híbridas orgánica/inorgánicas de alta eficiencia	63%	18%
P32	Nanoantenas termoeléctricas con alta eficiencia para el aprovechamiento de energía solar	73%	29%
P35	I+D de celdas solares con materiales novedosos	40%	17%
P37	Desarrollo de nuevos dispositivos fotovoltaicos y materiales semisuperconductores	63%	22%
P39	Desarrollo de un inventario permanente de los sistemas FV instalados a nivel nacional	29%	23%
P43	Laboratorio de edificaciones sustentables para desarrollo y evaluación sistemas solares pasivos	17%	16%
P50	Rutas de manufactura de bajo-capex acopladas a tratamientos térmicos para el alto desempeño de materiales novedosos en película delgada	0%	0%

Fuente: Fondo Sectorial Conacyt-SENER-Sustentabilidad Energética.

<sup>8</sup> Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética, SENER, SEP, Conacyt.

Los proyectos apoyados por el Fondo de Sustentabilidad Energética en materia de energía solar comprenden desde el desarrollo de nuevos materiales para la producción de energía fotovoltaica y fototérmica, procesos de manufactura, evaluación del recurso solar, hasta laboratorios y aplicaciones para atender necesidades específicas de orden social y comercial:

#### *Desarrollo de células fotovoltaicas*

- Células de silicio cristalino.
- Células multicapa.
- Películas delgadas.
- Tecnologías emergentes (Perovskitas, orgánicas, orgánicas híbridas con materiales nano estructurados, inorgánicas, puntos cuánticos).

#### *Desarrollo de materiales para aplicaciones fototérmicas y fotovoltaicas*

- Materiales selectivos y reflejantes para sistemas de conversión de energía solar en energía térmica.
- Recubrimientos autolimpiables de alto desempeño para superficies fotovoltaicas.

#### *Desarrollo de prototipos*

- Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con energía solar
- Producción de electricidad solar mediante sistemas de disco parabólico, a partir de fotoceldas de alta eficiencia y dispositivos termoiónicos avanzados
- Combustibles solares y procesos industriales (planta piloto de producción de hidrogeno mediante ingeniería termoquímica solar)
- Nanoantenas termoelectricas con alta eficiencia para el aprovechamiento de energía solar

#### *Procesos de manufactura*

- Módulos fotovoltaicos de CDTE/CDS de baja potencia
- Celdas solares de aleaciones semiconductoras basadas en Ga(in)N
- Desarrollo de captadores, sistemas solares y sistemas autocontenidos de baja temperatura con materiales novedosos para México
- Desarrollo de prototipos de módulos fotovoltaicos de CdTe/CdS
- Procesamiento de celdas solares de CdS/Cu (InGa) Se<sub>2</sub> y CdS/Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>
- Rutas de manufactura de bajo-capex acopladas a tratamientos térmicos para el alto desempeño de materiales novedosos en película delgada

#### *Laboratorios*

- Laboratorio nacional de SCS y química solar.
- Laboratorio de innovación para la producción de combustibles a partir de radiación solar como fuente primaria de energía.
- Laboratorio experimental y de educación en energía solar fotovoltaica, térmica e hidrogeno.
- Laboratorio nacional para la evaluación de la conformidad de módulos y componentes de sistemas e instalaciones fotovoltaicas.
- Laboratorio de innovación fotovoltaica y caracterización de celdas solares.
- Laboratorio para la investigación científica y desarrollo tecnológico en el área del aprovechamiento de la energía térmica solar.
- Laboratorio de pruebas y certificación para colectores solares destinados al calentamiento de agua.
- Laboratorio de pruebas para baja y media temperatura.
- Laboratorio para el diseño e integración de sistemas termosolares asistido por computadora.
- Laboratorio de energía solar.
- Laboratorio de edificaciones sustentables para desarrollo y evaluación sistemas solares pasivos.
- Laboratorio de energías alternativas.

- Laboratorio nacional de nano y bio-materiales.
- Laboratorio de servicios experimentales.

### Aplicaciones

- Implementación de energía termosolar, fotovoltaica y fotocatalítica para la remoción de metales pesados: diseño de planta piloto autosustentable.
- Sistemas de aire acondicionado solar para zonas costeras de México.

### Evaluación del recurso solar

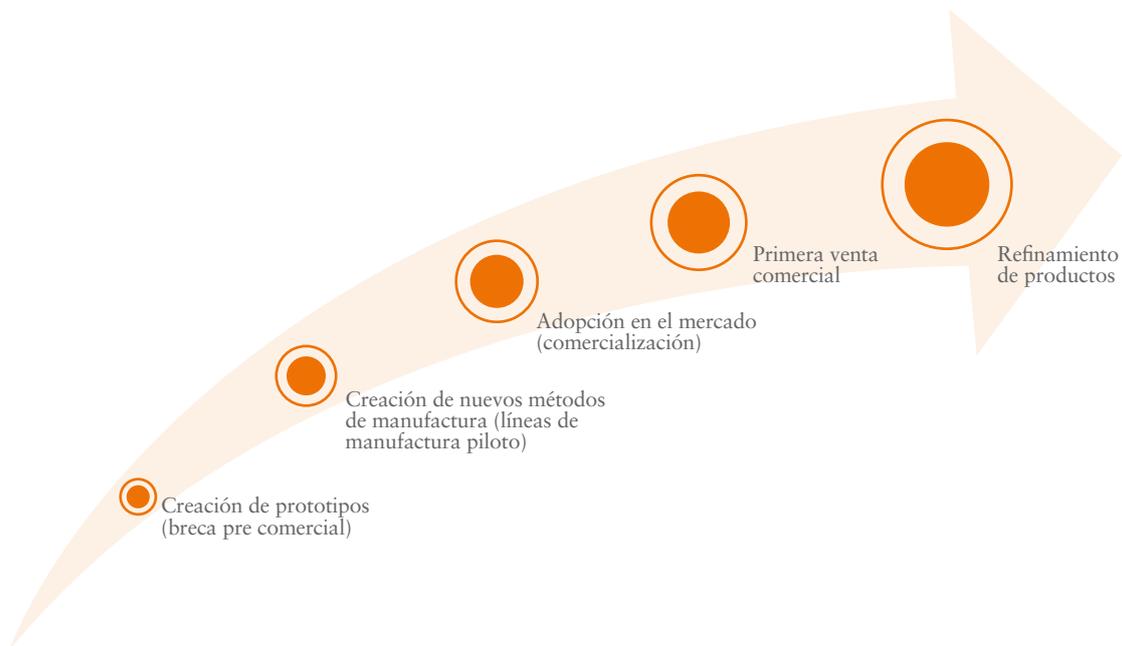
- Calibración de la red nacional de sensores de radiación solar.
- Inventario nacional del recurso solar (mapa del recurso solar).

Se espera que una vez concluido el desarrollo de la masa crítica de proyectos e inversiones en investigación e infraestructura solar, los avances en esta materia comiencen a traducirse en acciones de cooperación y sinergias entre los centros de investigación y el sector productivo.

Actualmente, cada vez más centros de investigación desarrollan portafolios de productos y servicios comercializables hacia la industria, y algunas empresas han encontrado enormes ventajas y beneficios al cooperar con la academia; sin embargo, falta una mayor difusión y vinculación de las necesidades del sector privado con los servicios que puede ofrecer la academia.

Desde hace algunos años, el Conacyt ha apoyado este tipo de sinergias con el Programa de Estímulos a la Innovación y con las Redes Temáticas Conacyt; entre estas últimas está la Red de Energía Solar, que busca crear sinergia entre investigadores, tecnólogos, empresarios, funcionarios y actores de la sociedad civil organizada para sumar conocimientos y habilidades para fortalecer e impulsar la industria solar.

A partir de 2017, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público otorga estímulos fiscales específicos a la inversión privada en ciencia y tecnología, con el fin de facilitar y acelerar el proceso de cooperación entre la academia y el sector privado. Como parte de estos estímulos, las empresas privadas tienen acceso a un crédito fiscal de 30% de los gastos e inversiones realizadas en I+D tecnológico, acreditable contra el impuesto sobre la renta (ISR).



Una vez alcanzada la maduración en el desarrollo de materiales y prototipos, el siguiente paso lógico será concretar la instalación de líneas de manufactura prototipo, lo cual requerirá de estrategias de inversión con capital de riesgo por parte de la industria y otros actores clave como la banca de desarrollo.

La adopción de la tecnología a escala comercial representa una oportunidad doble. Por un lado, propiciará el establecimiento de alianzas de inversión entre el gobierno, el sector privado y la banca; por el otro, permitirá a los centros de investigación mantener la capacidad de innovación de nuevos componentes y productos dentro de la cadena de valor de la industria, así como involucrarse de manera activa en el desarrollo de herramientas, tecnologías, procesos y servicios para reducir los costos de producción de sistemas de energía solar en todas las áreas tecnológicas, aumentar eficiencias y ofrecer un rendimiento más confiable en comparación con las tecnologías actuales.

Además de los servicios de I+D en tecnologías solares, otras áreas de oportunidad para la academia son los campos de la formación de personal calificado en toda la cadena de valor; los servicios de diseño, inspección y verificación de proyectos solares a gran escala (fotovoltaicos y fototérmicos); el aumento de eficiencia de equipos disponibles en el mercado; la certificación de calidad y seguridad de equipos que estarán en el mercado; la creación de empresas de base tecnológica; los servicios de inteligencia de mercados; análisis prospectivos de penetración de tecnologías solares bajo condiciones de mercado, así como tecnologías de operación y control de sistemas solares (electrónica de potencia, entre otras tecnologías).

En noviembre de 2015, México firmó su adhesión a la iniciativa Mission Innovation, que agrupa a países comprometidos con la I+D tecnológico en energías limpias. Como parte de esta iniciativa, México duplicará la inversión en I+D tecnológico en energías limpias a lo largo de los siguientes cinco años (62 millones de dólares por año); además, se refuerza la cooperación gubernamental para extender los esfuerzos de colaboración con contrapartes europeas, para desarrollar nuevas convocatorias binacionales en materia de innovación. Asimismo, se apoyará al sector privado en su esfuerzo para el desarrollo tecnológico e innovación enfocado a energías limpias.

## 3.5 CAPITAL HUMANO

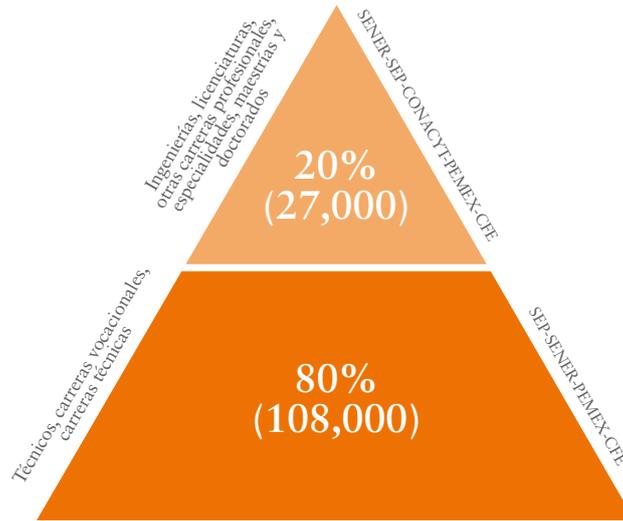
### 3.5.1 *Demanda de recursos humanos*

De acuerdo con el Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética, para cubrir la demanda del sector, México requiere formar a un mínimo de 135,000<sup>9</sup> expertos de alto nivel, profesionales y técnicos en distintas especialidades entre 2015 y 2018 —80% corresponde a personal con perfiles técnicos o carreras vocacionales y 20% del nivel superior y posgrado (figura 4.5)—, así como desarrollar mecanismos que permitan conectar de forma adecuada la oferta y la demanda de recursos humanos.

Se estima que a raíz de los cambios generados por la reforma energética, el sector registrará inversiones por 50,000 mil millones de dólares entre 2015 y 2018 (12,500 millones de dólares por año); por cada millón de dólares invertido se generan 2.7 empleos directos, en promedio, y por cada empleo directo generado, se abren 2.7 empleos indirectos.

<sup>9</sup> De acuerdo con el Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética, se requerirán 20,000 especialistas en 2015; 27,000 en 2016; 38,000 en 2017 y 50,000 en 2018.

**FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE NUEVOS EMPLEOS DIRECTOS EN EL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO, Y DEPENDENCIAS RESPONSABLES PARA 2018**



Fuente: Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética, SENER, SEP, Conacyt.

En el corto plazo, se espera que la producción de la industria de sustentabilidad energética mexicana tenga un crecimiento de hasta 79%, con una demanda de 16,230 trabajadores en distintas ocupaciones clave.

Con base en las proyecciones de crecimiento de energías renovables disponibles en 2014, bajo los cuales fueron realizados los análisis para elaborar el Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética, se estima que la mayor demanda de recursos humanos provendrá de la cadena de valor<sup>10</sup> de la energía eólica. No se dispone de datos específicos para el sector de energía solar fotovoltaica, ya que las estimaciones fueron realizadas con base en las perspectivas de crecimiento de energías renovables en 2014, que preveían que la energía solar fotovoltaica alcanzaría una capacidad adicional instalada de 543 MW en 2018 y 5,121 MW en 2028<sup>11</sup>, bajo el escenario de planeación. Se requieren nuevos análisis de la demanda de recursos humanos para la industria de energía solar fotovoltaica, con base en los escenarios de crecimiento previstos, y tomando en cuenta cadenas de valor más amplias que incluyan procesos de fabricación de subcomponentes y ensamblados de equipos en el país. De igual forma, la energía solar térmica requerirá análisis detallados que permitan cuantificar la demanda de recursos humanos.

### 3.5.2 Recursos humanos requeridos en la industria solar

En este apartado se presenta un panorama de las organizaciones que congregan a los participantes del sector, así como de las ocupaciones y perfiles necesarios en el sector de la energía solar por segmento de la cadena de valor. Los segmentos identificados como primordiales son: equipos, manufactura y distribución, desarrollo de proyectos, construcción e instalación, y operación y mantenimiento. Además, se considera una categoría adicional denominada actividades transversales, y se incluye a los clientes como parte de las ocupaciones, considerando que con frecuencia participan en la toma de decisiones de instalaciones a pequeña escala —comúnmente en edificaciones—.

<sup>10</sup> Únicamente se consideran las etapas de factibilidad, ingeniería, adquisición, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento.

<sup>11</sup> Prospectiva de Energías Renovables 2014-2028, SENER. Adiciones de capacidad instalada (MW) esperada en 2018 (escenario de planeación): hidráulica > 30 MW (1,230 MW), eólica (7,608 MW), geotermia (178 MW), bioenergía (92 MW), solar FV (543 MW), hidráulica < 30 MW (114 MW). Adiciones de capacidad instalada (MW) esperada en 2028 (escenario de planeación): hidráulica > 30 MW (3,544 MW), eólica (11,585 MW), geotermia (338 MW), bioenergía (661 MW), solar FV (3,121 MW), hidráulica < 30 MW (502 MW).

En la tabla 13 se presentan los componentes de la cadena de valor de la ISM, así como las habilidades y el tipo de especialización que debe cumplir el recurso humano; se incluye a los profesionales dedicados a la investigación de materiales, partes y sistemas, y a la evaluación de recursos, así como a los que se dedican al diseño, instalación, venta, operación y mantenimiento de los sistemas y sus componentes.

Los técnicos de instalación y operación de la industria solar deben contar con experiencia en el sector y estar acreditados mediante certificaciones especiales en el área; además, requieren de capacitación constante en la instrumentación y operación de las distintas tecnologías solares.

Adicionalmente, la industria requiere muchas y muy diversas habilidades asociadas a los aspectos generales de una empresa —ventas, financiamiento, procesamiento de datos y manejo de recursos humanos, entre otros—.

**TABLA 13. RECURSO HUMANO REQUERIDO POR LA INDUSTRIA SOLAR EN MÉXICO**

Etapa	Habilidades	Ocupaciones
Equipo, manufactura y distribución	<p>Los recursos humanos pertinentes para esta etapa deben poseer, en mayor o menor medida, conocimientos teóricos y prácticos en la energía solar. Los perfiles enfocados en manufactura, deben contar con alto grado de conocimiento en logística, manufactura y control de calidad. Mientras que el personal de mercadotecnia y de ventas, debe ser hábil en sus tareas pues se trata de tecnologías innovadoras incursionando en el mercado.</p>	<p>Técnicos y asistentes de laboratorio. Ingenieros en sistemas o en ciencias computacionales. Ingenieros de manufactura. Ingenieros especialistas en sistemas constructivos (mecánicos o civiles). Expertos en control de calidad y fabricación (ingenieros industriales, de procesos, de manufactura, entre otros). Ingenieros industriales especialistas en logística. Transportadores de equipos. Mercadólogos. Personal de ventas.</p>
Desarrollo de proyectos	<p>Para esta etapa, es necesario contar con habilidades de análisis y seguimiento de las operaciones de producción, evaluación de sistemas e identificación de necesidades y barreras de la industria solar, cuyo conocimiento facilite el desarrollo de proyectos con un enfoque sustentable.</p>	<p>Arquitectos (para proyectos de pequeña escala). Científicos de la atmósfera y meteorólogos (profesionales en ciencias de la tierra con especialización en ciencias de la atmósfera, por ejemplo). Ingenieros especialistas en evaluación de recursos y de sitios (ingenieros civiles, en energías renovables, y ambientales). Abogados. Asesores de desarrollo y uso de tierras (ingenieros ambientales o en desarrollo de proyectos). Relacionistas internacionales.</p>

Etapa	Habilidades	Ocupaciones
<p>Construcción Instalación</p>	<p>El recurso humano necesario para esta etapa debe contar, preferentemente, con certificaciones que acrediten su conocimiento de tecnologías de energía solar.</p> <p>En el caso de instaladores, es necesario que se encuentren correctamente capacitados y que cuenten con habilidades como destreza física y capacidad de trabajo en alturas, construcción e instalación de sistemas, familiaridad con prácticas y procedimientos básicos de instalaciones fotovoltaicas y fototérmicas, así como con certificaciones pertinentes para trabajar en este sector realizando instalaciones de acuerdo con los códigos y estándares correspondientes.</p>	<p><b>Solar térmica:</b> Diseñadores de sistemas (ingenieros mecánicos o energías renovables). Plomeros especializados.</p> <p><b>Solar fotovoltaica a pequeña escala:</b> Diseñadores de sistemas (ingenieros electrónicos o en energías renovables, por ejemplo). Electricistas especializados en energía solar.</p> <p><b>Solar fotovoltaica a pequeña escala, solar térmica</b> Especialistas en estructuras (arquitectos o ingenieros civiles).</p> <p><b>Fotovoltaica a gran escala:</b> Diseñadores de sistemas (ingenieros en estructuras, mecánicos, eléctricos y en energías renovables) Instaladores. Concentración solar Soldadores. Plomeros.</p> <p><b>Fotovoltaica a pequeña y gran escala:</b> Diseñadores y administradores de proyectos (ingenieros industriales, financieros o en energías renovables, administradores, entre otros). Evaluadores de proyectos e instalaciones (ingenieros en energías renovables, industriales, y mecánicos). Técnicos especializados en instalaciones fotovoltaicas. Ingenieros en sistemas. Ingenieros con especialidad en control de calidad (ingenieros industriales o de procesos). Transportistas.</p>
<p>Operación y Mantenimiento</p>	<p>En esta etapa, son necesarias habilidades y competencias técnicas similares a las de la etapa anterior. En general, para las instalaciones a pequeña escala, el mantenimiento sólo es necesario cuando ocurre algún problema en la instalación. En cambio, para gran escala, las habilidades demandadas en esta etapa de la cadena de valor varían de acuerdo con la tecnología solar, y son equivalentes a las necesarias en la etapa de construcción e instalación.</p>	<p>Eléctricos especializados en solar fotovoltaica. Plomeros especializados en sistemas de solar térmica. Especialistas en mantenimiento de equipos de concentración termosolar. Especialistas en reciclaje y disposición de residuos sólidos (ingenieros ambientales, por ejemplo).</p>

Proyecto	Nombre del proyecto	Institución líder
Actividades transversales	En todas las etapas de la cadena de valor se requieren profesionales con conocimientos en energías renovables, —enfocados en energía solar— y en las áreas de comercio; ciencias políticas; economía; gestión y desarrollo de proyectos; planeación, ejecución y evaluación de acciones de prevención y control de riesgos de trabajo en la industria solar, y recursos humanos.	Educatores y certificadores. Ingenieros en energías renovables. Administradores. Economistas. Politólogos. Especialistas en comercio. Profesionales en gestión y desarrollo empresarial. Científicos editores y escritores. Ingenieros en tecnologías de la información Especialistas en finanzas (licenciados en finanzas o ingenieros financieros). Consultores en seguridad y salud (licenciados en seguridad e higiene laboral o especializados en el tema). Clientes.

### 3.5.3 Formación de recursos humanos

Con la implementación de la reforma energética se ha promovido la creación de programas en materia energética para la capacitación, certificación y diplomados en los niveles de educación técnica, media superior, profesional y posgrado.

México cuenta con una amplia base de profesionales de nivel superior (licenciatura y técnico superior universitario). En el ciclo 2013-2014 las áreas asociadas al sector energético registraron una matrícula de 540,000 estudiantes, con un egreso anual promedio de 70,000 estudiantes. A nivel posgrado, en el mismo periodo, la matrícula nacional en áreas asociadas al sector energético era de alrededor de 16,000 estudiantes de maestría y 2,800 de doctorado. El Conacyt ha realizado un importante esfuerzo para estimular los estudios a nivel posgrado; en marzo de 2014 el Conacyt reportó un total de 6,595 becarios cursando programas directamente relacionados con energía, reconocidos por su calidad en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad, y 409 becarios formándose en algunas de las mejores universidades del mundo en temas de energía.

#### a) Formación de recursos humanos a nivel posgrado

Al cierre de mayo de 2016, los Fondos Sectoriales de Energía habían aprobado un total de 718 becas de posgrado (especialidad, maestría y doctorado) al amparo de las Convocatorias de Formación de Recursos Humanos en Materia de Hidrocarburos y Sustentabilidad Energética. Entre ambos Fondos se han autorizado un total de 100 becas de doctorado, 586 de maestría y 32 para especialidades. Por su parte, el Fondo de Sustentabilidad Energética reporta 76 becas para doctorados, 397 para Maestría y 32 para especialidades, para formar recursos humanos en materia de energías renovables y eficiencia energética.

No existen datos de las becas otorgadas específicamente para formar recursos humanos relacionados con la energía solar, sin embargo, a partir del último informe de actividades de operación del Fondo de Sustentabilidad Energética, al cierre de 2015, es posible cuantificar que en 2015 habrá al menos 41 personas formadas en este campo: siete a nivel licenciatura, 19 nivel maestría, 12 a nivel doctorado y tres a nivel posdoctoral.

**TABLA 14. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN MATERIA SOLAR PREVISTOS AL CIERRE DE LOS PROYECTOS APOYADOS POR EL FONDO DE SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**

Proyecto	Nombre del proyecto	Formación de recursos humanos previstos al cierre del proyecto
117891	Procesamiento de módulos fotovoltaicos de CDTE/CDS de baja potencia para su transferencia tecnológica al sector industrial	Titulación de tres estudiantes de licenciatura. Formación de tres investigadores (posdoctorantes). Formación de investigadores independientes en instituciones participantes.
117914	Desarrollo de sistemas de aire acondicionado solar para zonas costeras de México	Titulación de dos estudiantes a nivel maestría. Apoyo a cuatro estudiantes de nivel doctorado.
150111	Desarrollo de celdas solares nano cristalinas de multicapa ultra delgada	Titulación de un estudiante a nivel maestría.
151076	Fabricación de celdas solares de aleaciones semiconductoras basadas en Ga(in)N	Apoyo y titulación de nueve alumnos a nivel maestría y cinco a nivel doctorado, con dos líneas de investigación finalizada.
152244	Celdas solares fotovoltaicas basados en películas Ge(x)Si(1-x): depositadas por plasma sobre sustratos de plástico	Apoyo y titulación de cuatro alumnos a nivel doctorado, con líneas de investigación.
152474	Calibración de una red nacional de sensores de radiación solar y de su base de datos (recobro, validación y publicación de 133 estaciones)	Apoyo y titulación de un alumno a nivel maestría. Certificación de personal calificado para la operación de la Red de Radiación Solar.
153094	Diseño y desarrollo de celdas orgánicas (OPVs) eficientes para la generación de energía eléctrica limpia	Apoyo y titulación de un alumno a nivel maestría y tres a nivel doctorado.
207450	Centro Mexicano de Innovación de Energía Solar	Establecimiento de capacidades técnicas y de investigación a nivel nacional e internacional. Favorecer el desarrollo de la industria nacional (investigadores, diseñadores, fabricantes, distribuidores e instaladores) por medio de equipos de alta tecnología para el aprovechamiento de la energía solar.
231461	Laboratorio de innovación para la producción de combustibles a partir de radiación solar como fuente primaria de energía	Formar recursos humanos a nivel maestría y doctorado, en esta temática para que la inversión del Fondo en el Laboratorio se multiplique y extienda en el tiempo.
256766	Desarrollo de celdas solares de estado sólido de alto desempeño basado en Perovskitas híbridas bidimensionales utilizando cationes orgánicos alternativos	Dos tesis de licenciatura terminadas y trabajos posdoctorales.
263043	Implementación de energía termosolar, fotovoltaica y fotocatalítica para la remoción de metales pesados: diseño de planta piloto autosustentable	Formación de recursos humanos a nivel maestría.
246259	Diseño, construcción y equipamiento de laboratorio experimental y de educación en energía solar fotovoltaica, térmica e hidrogeno	Fomentar talleres de competencia y aplicación de conocimiento en el desarrollo de capacidades técnicas y tecnológicas vinculadas al aprovechamiento sustentable de la energía, en preparatorias y universidades de la región.

Proyecto	Nombre del proyecto	Formación de recursos humanos previstos al cierre del proyecto
249606	Fortalecimiento de las capacidades e infraestructura de un laboratorio para la investigación científica y desarrollo tecnológico en el área del aprovechamiento de la energía térmica solar	No especificado
249714	Diseño e instalación de un sistema fotovoltaico de 250 kWp para la generación de energía eléctrica en la Universidad Popular de Chontalpa	No especificado
263488	Diseño e instalación de un laboratorio de pruebas y certificación para colectores solares destinados al calentamiento de agua	No especificado
266632	Laboratorio binacional para la gestión inteligente de la sustentabilidad energética y formación tecnológica	Desarrollo de talento (profesionales y técnicos) para la cadena de valor en México (altamente especializado, especializado, básico y de conversión), en especial en el sector eléctrico, a través de investigación de posgrado, la certificación de competencias y oferta de cursos en línea masivos y abiertos. Se están creando 10 cursos masivos en línea, los cuales beneficiarán a 15,500 personas.
245467	Materiales híbridos nano estructurados y multifuncionales como electrodos para celdas solares	Dos tesis de Licenciatura.
245754	Predicción, síntesis, elaboración y calibración de celdas fotovoltaicas y baterías de flujo	No especificado
245811	Desarrollo de celdas fotovoltaicas orgánicas híbridas con materiales nano-estructurados para incrementar la eficiencia y disminuir la degradación	No especificado

Fuente: Fondo Sectorial Conacyt-SENER-Sustentabilidad Energética.

Las cifras más actualizadas del CEMIE Sol, indican que este Centro ha alcanzado 79 personas especializadas en materia solar.

#### ***b) Formación de recursos humanos a nivel profesional y técnico***

En diciembre de 2015 el Fondo de Sustentabilidad Energética aprobó el apoyo económico para la conformación del Laboratorio Binacional para la Gestión Inteligente de la Sustentabilidad Energética y la Formación Tecnológica, liderado por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en consorcio con el Tecnológico Nacional de México (SEP), el INEEL, y las universidades Estatal de Arizona y de California en Berkeley.

El laboratorio binacional desarrollará talento (profesionales y técnicos) para la cadena de valor en México (altamente especializado, especializado, básico y de conversión), en especial en el sector eléctrico, a través de investigación de posgrado, la certificación de competencias y oferta de cursos en línea masivos y abiertos. Actualmente se están diseñando 10 cursos masivos en línea, que beneficiarán a 15,500 personas.

De igual manera, se instalarán 18 laboratorios que servirán como base para el desarrollo de investigación, y se lanzará una convocatoria nacional, a través del ITESM, la CFE y el Tecnológico Nacional de México, para 125 becas de maestría y 30 de doctorado.

Los resultados del laboratorio binacional, darán soporte al crecimiento de las energías renovables y fuentes convencionales, aportando recursos humanos para la expansión del sector eléctrico en general.

En México existe una red de universidades tecnológicas y politécnicas, con programas de formación en energías renovables y energía solar a nivel técnico e ingenierías. Esta oferta educativa se encuentra distribuida en al menos 20 estados del país. En el nivel técnico, cinco planteles cuentan con oferta educativa en energía solar; en tanto, 16 planteles ofrecen carreras a nivel ingeniería para la formación en energías renovables y energía solar —cinco con carrera de ingeniería en energías renovables y 11 con carrera de ingeniería en energía solar—. Una de las mayores ventajas de este tipo de sistemas, es que se pueden adaptar de manera dinámica a las necesidades de formación técnica y profesional de la industria; en México hay diversas experiencias de sinergias con el sector industrial para construir planteles educativos con planes de formación adaptados a las necesidades de zonas específicas de desarrollo.

### c) Formación y certificación de recursos humanos a nivel técnico

Se tiene documentada la formación y certificación de 1,392 personas a nivel técnico-operativo, a través del Comité de Gestión por Competencias de Energía Renovable y Eficiencia Energética (CGCEREE). Estas certificaciones están basadas en estándares de competencia (EC) desarrollados por el propio CGCEREE; 93% de las personas capacitadas (1,295) han sido certificadas en competencias relacionadas con la instalación de sistemas solares, tanto térmicos como fotovoltaicos.

**TABLA 15. PERSONAL CERTIFICADO A TRAVÉS DEL COMITÉ DE GESTIÓN POR COMPETENCIAS DE ENERGÍA RENOVABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Clave del EC	Nombre del EC	Hombres			Mujeres			Total		
EC0325	Instalación de sistema de calentamiento solar de agua termosifónico en vivienda sustentable	480			54			534		
EC0473	Instalación del sistema de calentamiento solar de agua de circulación forzada con termotanque	84			9			93		
EC0586	Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria	622			46			668		
<b>TOTAL</b>		<b>1,186</b>			<b>109</b>			<b>1,295</b>		

Fuente: Elaborado por GIZ con datos de CONOCER y CGCEREE.

## 3.6 CALIDAD DE PRODUCTOS

La calidad de productos y servicios es clave para impulsar el desarrollo de la ISM, y de los mercados interno y global. El establecimiento de estándares de calidad y la generación de infraestructura alrededor de ellos puede traer diversos beneficios para los distintos actores del mercado.

En México, corresponde a la SE llevar a cabo acciones y programas para el fomento de la calidad de los productos y servicios mexicanos. La SE preside la Comisión Nacional de Normalización, encargada de aprobar el Programa Nacional de Normalización, con las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas que se pretenda elaborar anualmente.

La exigencia de estándares mínimos de calidad en el mercado interno es uno de los principales impulsores para promover aspectos de calidad y reputación en tecnologías como la solar. En México, las entidades públicas que financian tecnologías solares en sectores como el residencial, agronegocios, pymes y servicios, entre otros, han desarrollado esquemas propios de certificación de productos, servicios y empresas proveedoras para garantizar la certeza en las inversiones y la eficiencia de las instalaciones; así, se han establecido criterios mínimos de calidad para participar en programas que apoyan este tipo de tecnologías, como por ejemplo los de (, FIDE, la CONUEE, FIRCO y FIRA, entre otros.

En el ámbito de la energía solar fotovoltaica, existen 26 normas mexicanas de especificaciones y métodos de ensayo de seguridad, construcción y desempeño para los componentes de sistemas fotovoltaicos (módulos fotovoltaicos, inversores, baterías, acondicionadores de energía) y 15 normas de recomendaciones para sistemas híbridos y de energía renovable en áreas de difícil acceso. Sin embargo, aún se requiere complementar estas regulaciones con unidades de verificación de instalaciones que exijan la utilización de productos certificados.

En el ámbito de la energía fototérmica, la situación es relativamente similar. Actualmente, se han desarrollado cuatro normas mexicanas relacionadas con la evaluación del rendimiento térmico (pruebas y etiquetado) y la instalación de sistemas, las cuales tienen correspondencia parcial con la norma internacional ISO correspondiente.

La CONUEE ha realizado esfuerzos para el desarrollo de un Proyecto de NOM PROY-NOM-027-ENER/SCFI-2016, mediante la cual se podrá exigir de manera obligatoria criterios de rendimiento térmico y de seguridad de calentadores solares de agua (especificaciones, métodos de prueba y etiquetados). De acuerdo con Programa Nacional de Normalización, el proyecto de norma se encuentra en consulta pública y se prevé que concluya el proceso a más tardar en diciembre de 2017.

En la actualidad existe una amplia gama de sistemas solares, con calidad y rendimiento muy variables. Por ello, para alcanzar el potencial de mercado existente, se requiere de esfuerzos conjuntos entre los sectores público y privado, para incorporar estándares de tecnología, certificación y control de los sistemas solares y su instalación.

A nivel internacional, existen varios ejemplos de certificaciones para tecnologías fototérmicas. En Estados Unidos, por ejemplo, Solar Rating & Certification Corporation otorga certificaciones a colectores solares, calentamiento de agua residencial y sistemas de calentamiento y enfriamiento; en Europa, los productos solares térmicos garantizan el cumplimiento de las normas europeas mediante la certificación Keymark, otorgada por la Federación Europea de Energía Solar Térmica (ESTIF) con el fin de reducir las barreras para la comercialización de este tipo de productos y promover el uso de sistemas térmicos de alta calidad dentro y fuera del mercado europeo.

En cuanto a la tecnología fotovoltaica, está el sello CE Mark que avala el cumplimiento de normas de seguridad, salud y protección ambiental de acuerdo a los estándares establecidos en la comunidad europea. Por su parte, Estados Unidos y Canadá otorgan distintos sellos con base en el cumplimiento de normativas; en Estados Unidos se asignan certificaciones a paneles que cumplen con la normativa referente a seguridad establecida en el código eléctrico del país. Asimismo, la IEC certifica sistemas de generación por medio de energías renovables, para verificar la seguridad y facilitar el comercio de los mismos.

En 2015, reconociendo la importancia de promover la confianza de los consumidores en los mercados emergentes, un número creciente de países pequeños mostró interés por formar parte de la infraestructura regional de calidad de colectores solares de agua (esquemas de los procedimientos de certificación, las normas, las etiquetas del producto). Ejemplos de estos esquemas son la Iniciativa de Marca y Certificación Árabes para Calentadores Solares (SCHAMCI) y la Iniciativa de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), que busca desarrollar normas regionales para calentadores solares de agua con el objetivo de armonizarlas con las normas internacionales ISO en la materia.

La infraestructura de la calidad ofrece una amplia gama de beneficios que, en general, cuando se establece adecuadamente, supera los costos de su desarrollo e implementación. Estos beneficios abarcan distintos ámbitos:

#### *Diseño de políticas públicas*

- Fortalecimiento de los mercados emergentes.
- Promoción de la tecnología.
- Impulso a nuevos negocios.

### *Fabricantes*

- Reducción de barreras comerciales y expansión de mercados.
- Mejoras en el diseño de productos.
- Mejoras en los procesos de fabricación.

### *Profesionales*

- Mejora en la contratación y en la competitividad de las empresas de instalación.
- Mejora de los salarios y movilidad.

### *Usuarios finales*

- Creación de confianza en los productos.
- Posibilidad de comparar productos.
- Incremento de recursos financieros.

## 3.7 FORMULACIÓN DE LA AGENDA Y TOMA DE DECISIONES

Mediante la formulación de la agenda y la toma de decisiones, los grupos de interés pueden influir en la definición de un problema y en las decisiones de los diseñadores de políticas públicas. En México, los escenarios en los que se llevan a cabo estos procesos son diversos; destacan el Poder Legislativo (comisiones de energía en las cámaras de Senadores y de Diputados), secretarías de Estado (SENER y SEMARNAT), y los gobiernos estatales, entre otros.

En el campo de la energía solar, algunos de los actores más activos en México son la sociedad civil, la industria y la academia, quienes participan a través de cámaras industriales, asociaciones civiles, y organismos no gubernamentales. Entre las sociedades constituidas en México se encuentran la ANES, el Consejo Mexicano de la Energía, la ASOLMEX, la AMFEF, y FAMERAC.

El sector educativo también es un actor importante que ejerce su influencia a través de universidades, institutos de investigación, así como de sus estudiantes. La academia participa en la formulación de la agenda y toma de decisiones sobre todo en los temas referentes a la I+D; entre las instituciones académicas con mayor participación se encuentran la UNAM, el INEEL, el IPN, la UAM, y los Centros Conacyt.

También existen instancias internacionales con una importante influencia en temas de energía renovable dentro del sector energético mexicano. A nivel mundial se han establecido metas de reducción de emisiones, mediante procesos en los cuales México participa, y sin duda, estos elementos influyen de manera positiva en el desarrollo de la energía limpia en el país, sobre todo en materia solar.

## 3.8 OTROS MAPAS DE RUTA

A nivel global, hay dos ejemplos destacados de MR para el sector solar: el MR de IEA<sup>12</sup> (2014) y el Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan SET)<sup>13</sup>. El primero muestra una vocación por aumentar la eficiencia de las celdas y módulos fotovoltaicos para 2030; mientras que el segundo plantea reducir los costos de generación, O&M en un 20% para 2020.

Estos MR están dirigidos a una variedad de audiencias, incluidos los encargados de formular políticas, la industria, los servicios públicos, los investigadores y otras partes interesadas. Además de brindar un panorama general consistente de la energía fotovoltaica a nivel global y continental, proporcionan información y estimulan a cada país a elaborar planes de acción, establecer o actualizar objetivos y formular MR para el desarrollo de la energía fotovoltaica.

De manera general, el uso de la metodología de MR permite trazar la estrategia que marca el rumbo hacia la innovación, mediante un plan de acción a seguir en materia de energía solar. En los dos MR mencionados se advierte que si no se cuenta con la voluntad política y los incentivos

<sup>12</sup> [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy\\_2014edition.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf)

<sup>13</sup> Se trata de un conjunto de siete mapas de ruta de la Unión Europea en materia energética.

económicos y culturales que faciliten la adopción de la energía solar, su penetración en el mundo será lenta. Ambos MR identifican áreas de oportunidad de innovación tecnológica que deben ser aprovechadas para alcanzar las metas planteadas.

El MR de IEA presenta una nueva visión en la que se considera el progreso reciente de las tecnologías fotovoltaicas, así como las tendencias cambiantes de la combinación energética global. El MR evalúa de forma detallada la ambiciosa visión a nivel técnico, cuyo principal objetivo es mejorar el rendimiento de la tecnología fotovoltaica y reducir los costos para lograr la competitividad necesaria para las grandes inversiones previstas.

**FIGURA 12. IEA: MR PARA LA INDUSTRIA FOTOVOLTAICA – HITOS**

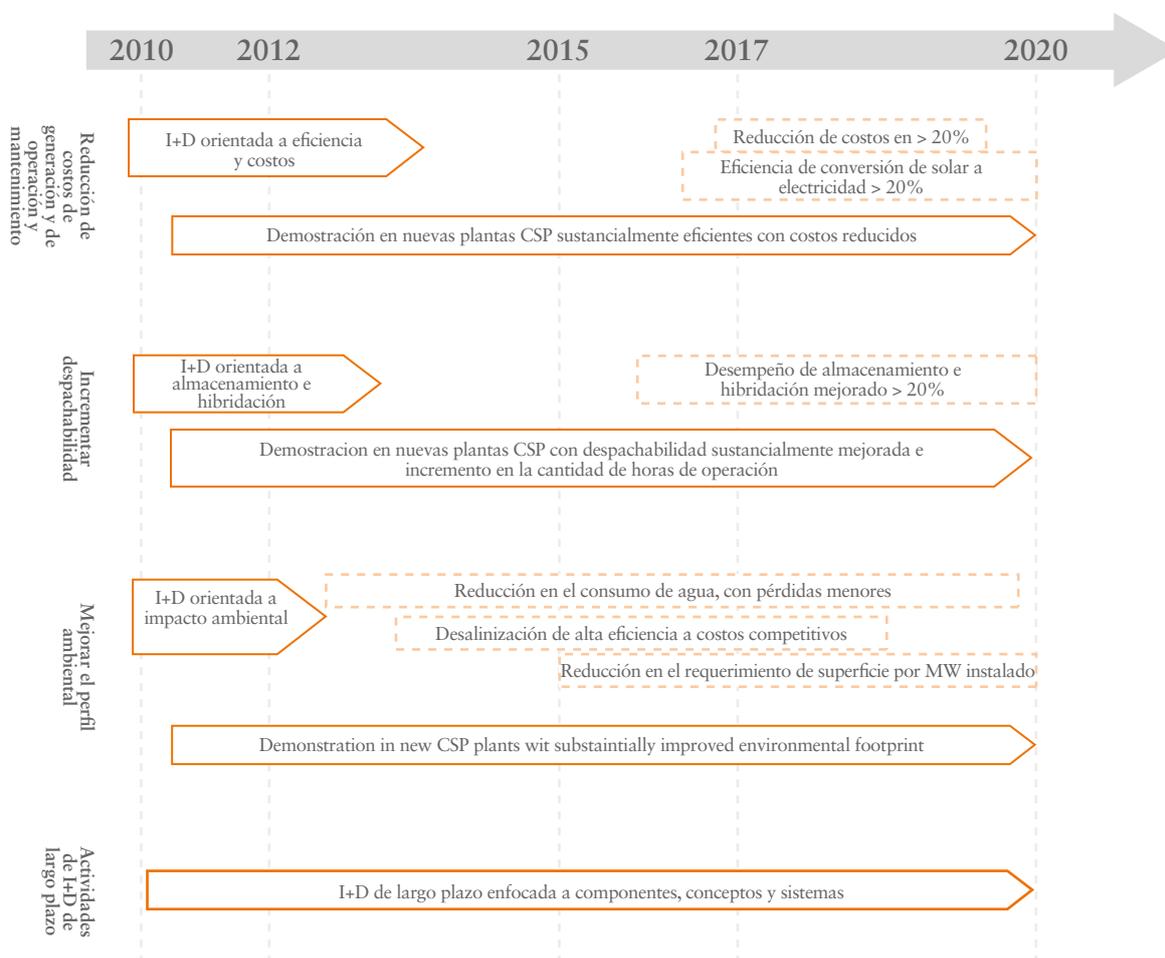
		2015	2020	2030	2040	2050
Celdas y módulos	TECNOLOGÍA	Incrementar la eficiencia de los módulos a 40% (HCPV), 24% (sc-Si), 19% (mc-Si; CdTe; CIGS) y 12% (otros)	Incrementar la eficiencia de los módulos a 50% (HCPV), 28% (tandem cells), 22% (mc-Si; CdTe; CIGS) y 16% (others)			
		Incrementar la tasa de desempeño y reducir los niveles de degradación				
		Reducir el consumo de silicio a 3g/W, así como el consumo de plata				
		Desarrollar células tandem bifásicas de alto rendimiento y eficiencia y bajo costo				
		Desarrollar material FV específico para soportes específicos				
Pronóstico y redes	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	Diversificar las características de los módulos para entornos variables				
		Desarrollar pronósticos del tiempo para FV				
Mercados eléctricos	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	Elaborar y utilizar códigos de red				
		Propiciar la dispersión geográfica para evitar la concentración de FV				
Flexibilidad del sistema de poder	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	Acortar los tiempos de cierre de la puerta y la longitud del bloque comercial				
		Introducir pagos por tiempo de entrega				
		Incentivar la flexibilidad de las capacidades existentes				
		Investigar opciones para nuevas plantas de PHS				
		Desarrollar nuevas capacidades de almacenamiento				
Barreras no económicas	POLÍTICAS Y FINANZAS	Autorizar la generación por productores independientes				
		Agilizar permisos y conexión, incluso en edificios				
		Capacitar y certificar instaladores FV				
		Definir o actualizar metas FV de mediano y largo plazos				
En mercados FV nuevos o emergentes	POLÍTICAS Y FINANZAS	Implementar o actualizar mecanismos de apoyo				
		Crear un entorno financiero estable y predecible				
En mercados FV maduros	POLÍTICAS Y FINANZAS	Implementar políticas de prioridad para impulsar la implementación de FV				
		Facilitar la generación fotovoltaica distribuida con tarifas o medición neta				
En islas y mercados and fuera de la red	POLÍTICAS Y FINANZAS	Reemplazar progresivamente las tarifas de alimentación con primas				
		Facilitar la generación de PV distribuida pero recuperar el costo T&D de la red				
		Evitar cargos retroactivos				
		Reducir los subsidios a precios minoristas, desarrollar fuentes alternativas y crear apoyos específicos para los pobres				
		Desarrollar e implementar modelos de negocios para FV sin conexión a la red y mini red				

Fuente: IEA.

Por su parte, en el marco del Plan SET, se presentan los MR con costos para la implementación de las seis primeras iniciativas industriales europeas —eólica, solar, redes eléctricas, bioenergía, captura y almacenamiento de carbono y fisión nuclear sostenible— enfocadas en acelerar el desarrollo y el despliegue a gran escala de tecnologías de baja emisión de carbono basadas en las actividades y logros actuales de I+D en Europa.

El objetivo estratégico del MR para la implementación de las iniciativas industriales europeas (Figura 4.7), es mejorar la competitividad y asegurar la sostenibilidad de la tecnología, facilitar su penetración a gran escala en las zonas urbanas y en unidades de producción de campo libre, así como su integración en la red eléctrica. A nivel industrial plantea establecer la energía fotovoltaica (SFV) como una tecnología energética limpia, competitiva y sostenible, que aporte hasta 12% de la demanda de electricidad en Europa para 2020.

**FIGURA 13. PLAN SET: MAPA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS INICIATIVAS INDUSTRIALES EUROPEAS (EJEMPLO PARA CSP)**



Fuente: Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan SET).

### 3.9 PLANEACIÓN

Como parte del programa Energía solar a gran escala en México, GIZ y ProMéxico acordaron la realización del MR de la Industria Solar Fotovoltaica y Fototérmica en México. Al tratarse de un sector emergente y para el cual la competitividad está claramente asociada con el desarrollo de plataformas tecnológicas y redes de innovación, el enfoque del MR está basado en el reconocimiento de las tendencias tecnológicas, por lo que las líneas estratégicas se enfocan en mantener un liderazgo tecnológico.

El objetivo general del MR es definir un plan estratégico para el desarrollo integral de la ISM.

En el proyecto participó un GC en el que estuvieron representados actores clave de los ámbitos académico, gubernamental, empresarial y civil de la industria solar fotovoltaica y fototérmica en México. El objetivo de dicho grupo fue integrar una visión integral, con amplia cobertura sectorial y con alcance nacional, que permitiera la construcción de una estrategia de mediano y largo plazos para el desarrollo de la industria.

El GC quedó conformado de la siguiente manera:

**TABLA 16. INTEGRANTES DEL GRUPO DE CONFIANZA PARA EL MAPA DE RUTA DE LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y TÉRMICA EN MÉXICO**

ProMéxico	ASOLMEX
ANES	AMFEF
AMDEE	INEEL
SE	SENER
CFE/Generación	GIZ
Green Energy	Heliocol de México
Helios Energía	Helios Energía Solar
Modulo Solar	Internovum Solar
EATON	IUSASOL
Energía Pueblo Solar	Schneider Electric
SolarCity	Gauss Energía
Solartec	Sunpower
Eqysol	Solarcentury
IER-UNAM	Fraunhofer ISE
Gobierno del Estado de Sonora	TÜVRheinland
Coordinación de Fomento Económico y Competitividad/Gobierno del Estado de México	Secretaría de Fomento Económico / Gobierno del Estado de Yucatán
Gobierno del Estado de Baja California	Gobierno del Estado de Morelos

A partir del diagnóstico de la situación actual y de las principales tendencias a nivel nacional e internacional en la industria solar fotovoltaica y fototérmica, se identificaron los eventos históricos (tablas 17 y 18) más relevantes dentro del sector energético y se realizó un análisis situacional que sirvió de base para validar los principales impulsores sociales, ambientales y políticos propuestos por el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems y que impactan directamente en el desarrollo del sector.

**TABLA 17. EVENTOS HISTÓRICOS MÁS RELEVANTES DENTRO DEL SECTOR ENERGÉTICO A NIVEL MUNDIAL**

Evento	Década	Contexto	Subsector
Efecto fotovoltaico (Becker)	1830	Mundo	SFV
Venta del primer calentador solar de agua	1900	Mundo	SFT
Creación de primeras empresas de colectores solares	1950	México	SFT
Celda fotovoltaica (Laboratorios Bell)		Mundo	SFV
Fundación de la ISES		Mundo	FC/SFT
Inicio de investigación en SFT en UNAM	1970	México	SFT
Inicio de investigación en SFV en el IPN		México	SFV
Primera crisis petrolera (inicia la opción solar)		Mundo	SFV/SFT
Fundación de Laboratorio de Energía Solar	1980	México	SFV/SFT
Primer posgrado en Energía Solar en México (UNAM)		México	SFV/SFT
Fundación de ANES		México	SFV/SFT
Marco normativo de apoyo a las energías renovables (LAERSFTE)	2000	México	SFV/SFT
Fabricación de módulos SFV en México		México	SFV
Incentivos a la generación distribuida en la Comunidad Europea		Mundo	SFV
Venta de electricidad SFV a 40 USD por MWh	2010 2010s 2010s 2010s	México	SFV
Apertura a las subastas a nivel internacional		Mundo	SFV
Creación del CEMIE Sol		México	SFV/SFT
Liberalización del mercado eléctrico por reforma energética		México	SFV

**TABLA 18. HECHOS RELEVANTES IDENTIFICADOS DENTRO DEL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO**

En 2014 se establece el CEMIE Sol con la misión de crear un vínculo entre industria, academia y gobierno para acelerar la innovación en la industria solar.

En la primera subasta eléctrica, se derrumbaron mitos sobre el precio de la electricidad fotovoltaica al registrarse valores de 48 USD/MWh.

En 2015, México se compromete a actuar contra el cambio climático antropogénico, estableciendo compromisos nacionales voluntarios apoyándose en el uso y aprovechamiento de energías limpias.

En la segunda subasta eléctrica de 2016, la tecnología solar participó con 54.28% en energía, 53.19% en CEL y 15.49% en potencia. En 2016 en México se ofreció el precio de electricidad (USD/MWh) más bajo en el mundo con sistemas fotovoltaicos.

El uso de las energías renovables permitirá avanzar hacia el desarrollo sustentable.

### 3.10 ANÁLISIS FODA

El GC observó e hizo una descripción cualitativa de las características actuales del negocio y del mercado del sector energético mexicano, para identificar las fortalezas de la industria, las oportunidades del mercado, las debilidades internas del sector y las amenazas del entorno. Una versión preliminar de los resultados fue validada en sesiones virtuales, y ponederada en una sesión posterior del GC, donde los hallazgos fueron agrupados, según sus características, en los subsectores fotovoltaico y fototérmico. En las siguientes figuras se muestran las conclusiones de este trabajo (figuras 14 y 15).

**FIGURA 14. ANÁLISIS FODA PARA LA INDUSTRIA FOTOVOLTAICA DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO**

	ASPECTOS POSITIVOS (+)	ASPECTOS NEGATIVOS (-)
ORIGEN INTERNO	<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptación rápida a las nuevas leyes, reglamentos y normas.</li> <li>Alineación de objetivos y alcance de metas por parte de las empresas del sector.</li> <li>Estructuración adecuada de proyectos para acceder a financiamiento.</li> <li>Personal técnico de alta calidad.</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dependencia de tecnología extranjera en toda la cadena de suministro.</li> <li>No se cuenta con esquemas financieros adecuados para proyectos de gran escala por parte de la banca de desarrollo en el país.</li> <li>El personal para instalaciones es insuficiente.</li> <li>Las zonas del país con más alto potencial presentan una virtual saturación de la red de transmisión eléctrica.</li> </ul>
ORIGEN EXTERNO	<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las recientes normas y reglamentos para impulsar al sector fueron elaborados bajo procesos claros, transparentes e incluyentes.</li> <li>Mercado con amplio potencial de crecimiento.</li> <li>Interés y disponibilidad de capital extranjero para inversión en el sector.</li> <li>Se puede aprovechar el conocimiento y la experiencia internacionales.</li> <li>Disponibilidad de apoyo de agencias internacionales para iniciativas mexicanas.</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Deficiencias o falta de claridad en ciertas normativas federales relativas a estándares de calidad para la realización de instalaciones. eliminación de subsidios y aplicación de fracciones arancelarias.</li> <li>Incertidumbre sobre posible cambio en las políticas energéticas frente a elecciones de 2018.</li> <li>Falta de información sobre la capacidad y disponibilidad de la red eléctrica nacional para la interconexión de proyectos de generación.</li> <li>Falta de incentivos a nivel estatal para la instalación de equipos de generación distribuida.</li> <li>Volatilidad en el tipo de cambio peso-dólar.</li> <li>Volatilidad en el precio del gas natural.</li> </ul>

En el análisis FODA, el GC destacó que el sector energético fotovoltaico en México se encuentra en proceso de transición. Como resultado de la reforma energética, se ha registrado un crecimiento de los proyectos de generación, asociado a la disminución de costos asociados a la innovación tecnológica y al factor de eficiencia en la industria. Las recientes normas y reglamentos para impulsar al sector se han elaborado bajo procesos claros, transparentes e incluyentes, lo cual también ha favorecido ese crecimiento. Adicionalmente, el mercado en México para tiene con un amplio potencial de crecimiento.

Asimismo, existen importantes oportunidades para atraer mayor inversión extranjera, debido al interés y disponibilidad de capital. Por parte del gobierno federal, es posible robustecer el marco regulatorio y la normativa existentes a partir del aprendizaje de las mejores prácticas internacionales. Adicionalmente, las iniciativas mexicanas cuentan con el interés y el apoyo de agencias internacionales de colaboración —como GIZ y otras agencias y programas, principalmente de la Unión Europea—.

En México ha habido una adaptación rápida a las nuevas leyes, reglamentos y normas en beneficio de la industria energética. La receptividad de los responsables de elaborar las políticas públicas y regular el sector ha favorecido la alineación de objetivos entre el gobierno, la

población y la industria, lo que ha permitido a la mayoría de las empresas del sector alcanzar e incluso superar las metas de desarrollo de sus negocios en México. Sin embargo, persiste una gran dependencia de tecnologías extranjeras en toda la cadena de suministro.

Por otra parte, el GC subrayó que, si bien la estructuración de los proyectos es adecuada para que las empresas accedan a financiamiento, en México, la banca de desarrollo no cuenta aún con esquemas financieros apropiados para proyectos de gran escala en este sector.

En lo que respecta al capital humano, si bien México cuenta con técnicos e ingenieros de alta calidad en el sector, la suma del personal disponible no es suficiente para atender el número de instalaciones actuales y las que se prevén en el mediano plazo.

Otra preocupación de la industria se refiere a la saturación virtual de la red de transmisión eléctrica, sobre todo en las zonas de más alto potencial en el país. De la alta cantidad de permisos otorgados en años anteriores, una buena parte no se llevará a cabo, lo que genera la llamada “saturación virtual”.

Finalmente, la industria enfrenta una serie de amenazas que podrían afectar su crecimiento. En la regulación federal destaca la carencia de estándares de calidad para la realización de instalaciones, la falta de claridad sobre la eliminación de subsidios al consumo de electricidad (por ejemplo, en los sectores residencial y agropecuario), así como en la aplicación de fracciones arancelarias. A esto se suma la incertidumbre sobre posibles cambios en las políticas energéticas frente a elecciones de 2018, así como la falta de información oportuna y confiable sobre la capacidad y disponibilidad de la red eléctrica nacional para la interconexión de proyectos de generación. A nivel estatal, es notoria la falta de incentivos regionales para la instalación de equipos de generación distribuida. En lo que respecta al entorno macroeconómico, destacan la volatilidad en el tipo de cambio peso-dólar —que repercute en los contratos de compra-venta de electricidad y de equipos— y en el precio del gas natural.

**FIGURA 15. ANÁLISIS FODA PARA LA INDUSTRIA FOTOTÉRMICA DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO**

	ASPECTOS POSITIVOS (+)	ASPECTOS NEGATIVOS (-)
ORIGEN INTERNO	<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuración adecuada de proyectos para acceder a financiamiento.</li> <li>• La cadena de suministro nacional para proyectos de baja temperatura mediante colectores solares planos es robusta.</li> <li>• Alineación de objetivos y alcance de metas por parte de las empresas del sector.</li> <li>• Facilidad de asimilación de la tecnología por parte de los consumidores.</li> <li>• Capacidad institucional para el desarrollo de capital humano.</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitada capacidad técnica y escasa disponibilidad de financiamiento para proyectos de mediana y alta temperatura en procesos industriales.</li> <li>• Baja penetración en el sector industrial de mediana y alta temperatura.</li> <li>• Escasez de capital humano especializado en instalaciones fototérmicas.</li> <li>• Falta de controles para el cumplimiento de normas de calidad en los equipos e instalaciones.</li> </ul>
ORIGEN EXTERNO	<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de aprovechar el conocimiento y la experiencia internacionales.</li> <li>• Desarrollo de normas y reglamentos para impulsar este sector, tomando como referencia las mejores prácticas a nivel internacional.</li> <li>• Crecimiento constante a nivel global de la industria de procesos térmicos, lo que permitiría incursionar en nuevos nichos de mercado.</li> <li>• Mercado con amplio potencial de crecimiento en México.</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia de normas obligatorias de estándares de calidad y certificaciones.</li> <li>• Ingreso al país de equipos más asequibles, pero de bajas especificaciones.</li> <li>• Falta de políticas públicas que promuevan el uso de la energía solar fototérmica en distintos sectores de la economía.</li> <li>• Incertidumbre en cuanto a la aplicación de fracciones arancelarias.</li> <li>• Volatilidad del precio del gas natural.</li> </ul>

De acuerdo con el análisis FODA, la industria solar fototérmica presenta un panorama alentador. El sector cuenta con grandes fortalezas, entra las que destacan una adecuada estructuración de los proyectos para acceder a financiamiento, así como la alineación de objetivos, lo que facilita a las empresas el logro de metas. Asimismo, la industria cuenta con la capacidad necesaria para lograr un buen desarrollo de su capital humano. Adicionalmente, la cadena de suministro nacional es robusta y se complementa con un ecosistema empresarial fuerte, con experiencia en la estructuración de proyectos. Cabe destacar que estas fortalezas están presentes sólo en la industria solar térmica de baja temperatura, ya que en las industrias de media y alta temperaturas se enfrenta un panorama diferente.

A pesar del potencial de la industria, existen debilidades que podrían afectar su crecimiento. En especial, destacan riesgos a la imagen y credibilidad del sector, asociados a la proliferación de empresas que no cuentan con conocimientos técnicos necesarios para la instalación de equipos. Este fenómeno se ha visto favorecido por la falta de normatividad que establezca estándares de calidad obligatorios respecto a los equipos y las empresas que participan en el sector; debido a que no existen normas de estándares de calidad y certificaciones, la industria no está completamente regulada. Existe la oportunidad de desarrollar normas y reglamentos que impulsen el desarrollo del sector, tomando como referencia las mejores prácticas a nivel internacional.

La industria solar fototérmica cuenta con un mercado potencial muy grande, que ha mostrado un alto nivel de asimilación a la tecnología del sector. Además, tiene frente a sí otras ventajas como la posibilidad de aprovechar la experiencia internacional y sus mejores prácticas, especialmente para el desarrollo de normas y reglamentos.

Finalmente, existen diversos factores externos que podrían afectar el desarrollo adecuado de la industria solar fototérmica; entre ellos destaca el ingreso al país de equipos asequibles con bajas especificaciones de calidad —la admisión de estos equipos implica que la calidad de lo que produzca no sea la óptima—.

Por otro lado, la falta de políticas públicas que promuevan el uso de energía solar fototérmica en diversos sectores puede convertirse en una amenaza para el sector. Se requiere de políticas públicas que fomenten el uso de este tipo de energía en la actividad industrial, sin distinción de sectores.

Finalmente, la industria no tiene certezas en materia de aplicación de fracciones arancelarias.

### 3.11 ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Un análisis de tendencias brinda un panorama general de cómo se espera que se desarrolle la industria en el tiempo. Las tendencias pueden ser de corte tecnológico, social, ambiental, económico y político, y sirven como base para la definición de hitos estratégicos.

A continuación, se exponen las tendencias identificadas por el GC y que guiarán el futuro del sector en los próximos años.

**TABLA 19. PRINCIPALES TENDENCIAS AMBIENTALES, POLÍTICAS, ECONÓMICAS Y TECNOLÓGICAS DEL SECTOR FOTOVOLTAICO**

Ambientales	<p>Cultura sobre el cuidado del ambiente y efectos del cambio climático (2020).                  Uso sustentable de la energía en hogares y alumbrado público (2030).                  Mayor reducción de GEI por incremento de ER en el sector eléctrico (2025).                  Diseño ambientalmente correcto de parques fotovoltaicos mayores de 50 MW (2020).                  Reciclado o reúso de partes de paneles (2030).</p>
Políticas	<p>Tramitología y tiempo para autorizar estudio de impacto ambiental aceptables (2020).                  Marco regulatorio adecuado para la consolidación del MEM (2020).                  Reducción de subsidios a la electricidad (2025).                  Mecanismos institucionales para lograr mayor accesibilidad y cobertura de electricidad a menor costo (2020).                  Mejora en los procesos para evaluar impactos ambientales y sociales (2035).</p>
Económicas	<p>Disminución de los costos de inversión relativos al “balance del sistema” (2025).                  Fomento a la integración vertical y horizontal de la industria (2020).                  Reducción de los costos por tecnologías de celdas de cuarta generación (2025).                  Impulso a la industria solar fotovoltaica nacional con mayor recurso humano y financiero local (2030).                  Integración de equipos solares fotovoltaicos domésticos al esquema de generación distribuida (2025).                  Consolidación de la industria en grandes jugadores con capacidad para competir vía precio (2020).</p>
Tecnológicas	<p>Desarrollo tecnológico continuo para reducción de costos y aumento de eficiencia en equipos solares fotovoltaicos (2025).                  Desarrollo de granjas solares fotovoltaicas con mayor capacidad instalada (2020).                  Impulso a la generación descentralizada de electricidad (2030).                  Incorporación de redes de transmisión inteligentes (2030).                  Viabilidad de sistemas de almacenamiento de electricidad a gran escala (2035).                  Desarrollo tecnológico de la industria vinculado a la generación de conocimiento (2030).</p>

**TABLA 20. PRINCIPALES TENDENCIAS AMBIENTALES, POLÍTICAS, ECONÓMICAS Y TECNOLÓGICAS DEL SECTOR FOTOTÉRMICO**

Ambientales	<p>Mayor exigencia de usuarios por suministro de energía más limpia (2025).                  Certificaciones ambientales del sector solar fototérmico (2025).                  Mayor reducción de GEI por incremento de ER en sector de calor (2025).                  Políticas ambientales más operativas a nivel nacional e internacional (2020).                  Políticas Establecimiento de normas y reglamentos para uso obligatorio del calor solar en edificaciones (2020).                  Desarrollo de políticas ambientales favorables a ER (2025).                  Mayor participación del sector privado en el mercado de calor (2025).                  Políticas diferenciadas para el impulso de ER y EL (2025).                  Reducción de subsidios a combustibles convencionales (2020).</p>
Económicas	<p>Incremento en el precio de los hidrocarburos (2025).                  Nuevos modelos de negocio para proyectos de gran escala (2030).                  Aumento en las tasas internas de retorno de los proyectos fototérmicos (2025).                  Nuevos mecanismos para incentivar la inversión (2025).                  Aprovechamiento del nuevo mercado de calor solar (2035).</p>
Tecnológicas	<p>Integración de sistemas de control y monitoreo para optimización de procesos (2025).                  Desarrollo continuo de sistemas de almacenamiento de calor, en particular para CSP (2030).                  Desarrollo de nuevos materiales para reducción de costos y aumento de eficiencias (2025).                  Desarrollo e integración de sistemas solares térmicos a gran escala (2025).                  Desarrollo de proyectos CSP para generar electricidad (2030).                  Sistemas de almacenamiento para garantizar suministro <i>ad hoc</i> a la demanda (2030).                  Desarrollo de soluciones <i>ad hoc</i> a requerimientos de calor en diferentes aplicaciones (2025).</p>

### 3.12 DEFINICIÓN DE HITOS

A partir del diagnóstico de la situación actual y prospectivo de la energía solar, y del análisis FODA —ya ponderado—, el GC estableció los principales hitos estratégicos en los que se debe enfocar la industria solar en los próximos años. Los hitos permitirán determinar si se está cumpliendo la estrategia en el tiempo.

Las tablas 21 y 22 muestran los hitos para las industrias fotovoltaica y fototérmica, respectivamente.

**TABLA 21. HITOS ESTRATÉGICOS IDENTIFICADOS PARA LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA MEXICANA**

1	En el 2030, 4 millones de casas contarán con un sistema fotovoltaico de 1 kW para satisfacer sus requerimientos de energía (generación distribuida).
2	La electricidad solar fotovoltaica representa 70% de la energía limpia adicional requerida al 2030 (gran escala).
3	Las empresas mexicanas aportan 80% de los subcomponentes necesarios para la fabricación de equipos en el país en 2030 (proveeduría nacional).
4	México cuenta con 100% de los recursos humanos que se requieren para el desarrollo de la industria fotovoltaica al 2020 (capital humano).
5	Puesta en marcha en México de un centro internacional de capacitación y certificación de competencias y de sistemas en energía solar fotovoltaica para 2018 (competitividad).

**TABLA 22. HITOS ESTRATÉGICOS IDENTIFICADOS PARA LA INDUSTRIA SOLAR FOTOTÉRMICA MEXICANA**

1	Normas obligatorias mexicanas específicas para tecnologías solares térmicas al 2017.
2	Instrumentos financieros específicos para impulsar el desarrollo de la industria solar térmica al 2018.
3	Inicio de un mercado de calor solar en aplicaciones de gran escala en México al 2018.
4	Puesta en marcha en México de un centro internacional de capacitación y certificación de competencias y de sistemas en energía solar fototérmica al 2018.
5	La capacidad total instalada de sistemas fototérmicos en México representará 6% de la capacidad instalada a nivel mundial.
6	Puesta en marcha de una planta CSP de generación de electricidad al 2025.

### 3.13 PROYECTOS ESTRATÉGICOS

Durante la elaboración del mapa de ruta se identificaron retos en los mecanismos de coordinación de los sectores público y privado para impulsar estrategias integrales de desarrollo, así como la necesidad de información dinámica para detectar oportunidades de inversión y desarrollo de nuevos mercados a nivel local y global.

Las iniciativas propuestas por la industria están enfocadas en el reforzamiento de las condiciones generales del mercado solar en México, mediante mecanismos de coordinación para eliminar barreras en la implementación de la reforma energética y mejorar las capacidades de vinculación de instituciones privadas y públicas, así como de la academia, para generar sinergias que permitan atender las necesidades del mercado de una manera más eficiente.

El grupo de trabajo propuso los proyectos estratégicos necesarios para alcanzar los hitos establecidos. En la siguiente tabla se presentan los proyectos estratégicos propuestos, así como el objetivo general para cada uno de ellos.

**TABLA 23. PROYECTOS PROPUESTOS PARA EL SECTOR SOLAR FOTOVOLTAICO EN MÉXICO**

Título del proyecto	Objetivo	Periodo	Actores clave	Hito
Mapa de capacidades de generación y transmisión	Proporcionar un mapa intuitivo, que permita identificar con facilidad los puntos idóneos para instalar y conectar una planta de generación a la red eléctrica.	2016-2019	Desarrolladores de proyectos	2
Creación de incentivos de mercado para fortalecer la generación distribuida	Establecer las reglas, modelos de contratos, manuales técnicos de interconexión e incentivos al mercado de generación distribuida con fuentes solares.	2016-2020	SENER, CRE, CONUEE, INEEL, FIDE	1
Desarrollo de modelos de autogeneración a partir de los consumos de electricidad de gobiernos estatales y municipales	Establecer esquemas operativos institucionales que permitan la organización y consolidación de la industria fotovoltaica local a partir de los consumos del sector público, para posteriormente incorporar a los sectores productivos y usuarios domésticos.	2017-2021	Gobierno del Estado de Sonora, empresas regionales (integradores, proveedores, instaladores), FOTEASE, banca de desarrollo y comercial.	2
Programa de reconversión de subsidios a tarifas de bombeo agrícola y tarifas domésticas para la amortización de centrales de generación solar fotovoltaica	Dirigir los subsidios a las tarifas eléctricas para financiar la instalación de sistemas de generación, que una vez amortizados y entregados a los usuarios conduzcan al retiro definitivo de subsidios.	2016-2021	SENER, CRE, SHCP, CONUEE, CFE, Iniciativa Climática de México	1,2
Simplificación de procesos, y desarrollo y fortalecimiento del marco regulatorio de energía solar fotovoltaica	Identificar inconsistencias en los nuevos instrumentos regulatorios para facilitar el desarrollo eficiente de proyectos fotovoltaicos.	2016-2020	CRE, SENER, CENACE, CONUEE, ANCE, INEEL, EMA, FIDE, Industria solar, academia	2,3
Plataforma de impulso solar para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica	Facilitar el desarrollo, la integración e implementación de proyectos. Acceso a información de capacidad de redes, agilizar trámites y servicios (permisos), facilitación de procesos y estrategias transversales.	2016-2017	Desarrolladores de proyectos	2,3
Grupo de interlocución de la industria solar fotovoltaica ante la ABM	Impulsar el desarrollo de productos financieros adecuados para atender las diferentes oportunidades del mercado: productos financieros para generadores de electricidad y consumidores que participan en el MEM; expandir la presencia de alternativas financieras para convertir y facilitar las soluciones solares fotovoltaicas como un <i>commodity</i> .	2016-2017	ASOLMEX, ANES, GIZ	2
Identificación y vigilancia de las capacidades nacionales en la cadena de valor de generación de energía solar fotovoltaica	Identificar capacidades nacionales en la cadena de valor de la producción.	2016-2017	ANES, ASOLMEX, PeoMéxico, INEEL	3,4
I+D para la competitividad de la industria solar fotovoltaica	Desarrollar materiales, procesos y sistemas para fabricación de insumos requeridos en la industria solar fotovoltaica.	2016-2028	SENER, Conacyt, CEMIE Sol, INEEL, IER, CIQA, CIMAV, CIATEQ	5
Desarrollo de normas obligatorias para productos solares fotovoltaicos	Normalizar la calidad de los bienes nacionales e importados de paneles solares y equipos.	2016-2020	SENER, CRE, CENACE, CONUEE, ANCE	3

Se consideraron los siguientes elementos para el desarrollo del MR:

### *Mapa de capacidades de generación y transmisión*

En la planeación de proyectos fotovoltaicos se considera la calidad del recurso solar, la economía de escala, el capital disponible y la capacidad de la red. Tomando estos factores en cuenta, el desarrollador del proyecto debe definir el modelo de negocio que resulte más atractivo para colocar los productos en el mercado eléctrico. El nivel de riesgo asumido en estos factores dependerá de cada desarrollador e inversionista.

En México, se percibe un alto riesgo asociado a la incertidumbre en la capacidad de la red para evacuar la energía, ya que hasta ahora no existen mecanismos bien definidos para la publicación de la información sobre el nivel de las redes de transmisión y distribución con un detalle aceptable para planear los proyectos de manera más eficiente.

Este proyecto plantea el establecimiento de un grupo de interlocución entre la industria solar fotovoltaica, la SENER, la CRE y el CENACE, para intercambiar experiencias internacionales en la materia e identificar los mecanismos más adecuados para garantizar la confiabilidad del sector eléctrico y asegurar un desarrollo eficiente del mercado de la energía solar fotovoltaica.

Como producto de estas actividades, se pretende avanzar en la implementación de la reforma energética, mejorando la transparencia y el acceso a la información gradualmente, de forma tal que los desarrolladores de proyectos renovables puedan reducir riesgos y mantener certeza en las inversiones en tecnologías intensivas de capital.

Se busca disponer de boletines electrónicos públicos, con información de las capacidades de las redes de transmisión y distribución, y las condiciones de operación.

### *Creación de incentivos de mercado para fortalecer la generación distribuida*

La reforma energética promueve la transición hacia un nuevo modelo energético donde el gobierno, las empresas y la sociedad en general aprovechan sus recursos de forma racional y sustentable, y que permite apoyar la economía familiar, generar empleos, proteger al medio ambiente, incrementar la transparencia en el sector energético y mejorar la competitividad del país.

El gobierno federal y los órganos reguladores coordinados en materia energética (la CRE y el CENACE) son los encargados de poner en marcha la política y los instrumentos de promoción que se requieren para impulsar instalaciones de generación limpia distribuida y medidas de eficiencia energética económicamente viables entre la población del país.

En una primera fase, desde 2015, el FOTEASE impulsa la generación distribuida mediante el otorgamiento de incentivos directos por medio del FIDE para promover la adquisición de sistemas fotovoltaicos entre usuarios de los sectores residencial de alto consumo, mipymes, industrial, comercial y de servicios. Esta iniciativa busca desarrollar un mercado más competitivo que permita reducir los precios de la tecnología.

Durante 2016, la CRE desarrolló y sometió a consulta pública nuevos instrumentos regulatorios para la generación distribuida. En diciembre de 2016 fue publicado el Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW. Posteriormente, en marzo de 2017, se publicaron disposiciones administrativas de carácter general, modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y de generación limpia distribuida.

El nuevo marco regulatorio genera nuevas oportunidades de inversión, permite que los pequeños generadores participen de manera más activa en un mercado abierto de energía, y simplifica los trámites para que los consumidores puedan suministrar su propia energía eléctrica.

Con el fin de ampliar las opciones de financiamiento e incluir a más tecnologías de generación limpia distribuida en el país, en 2015 el FOTEASE autorizó el apoyo al proyecto denominado Financiamiento para acceder a tecnologías de energías renovables de generación eléctrica distribuida (FATERGED), implementado por el INEEL, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Iniciativa Climática de México, con el objetivo de acelerar la canalización

del crédito interno hacia los desarrolladores de proyectos (integradores y proveedores de tecnología) en los sectores con mayor potencial de utilización de tecnologías renovables de generación eléctrica distribuida en México. Se prevé que para 2018, este proyecto alcance la maduración de productos financieros entre la banca comercial, adaptados a las oportunidades del mercado que derivarán de las nuevas regulaciones impulsadas por la reforma energética.

### *Desarrollo de modelos de autogeneración a partir del consumo de electricidad de gobiernos estatales y municipales*

La transición energética hacia modelos de generación descentralizados y de mercado abierto, abre la puerta para que estados y municipios accedan a energía eléctrica a precios competitivos y estables para satisfacer la demanda de electricidad en instalaciones públicas a nivel local. Hasta ahora, los gobiernos locales carecen de experiencia en actividades relacionadas con la generación eléctrica y los posibles mecanismos institucionales y financieros que se podrían implementar.

El Gobierno del Estado de Sonora es uno de los pioneros en la conceptualización de mecanismos de esta naturaleza. Entre 2017 y 2021, Sonora desarrollará un programa de inversión para la instalación anual de 12 MW fotovoltaicos (60 MW en total durante el periodo de ejecución del programa), lo que representará una inversión aproximada de 388 millones de pesos anuales. La capacidad que se prevé instalar cada año tendrá participación en dos modalidades de generación eléctrica: 7 MW de generación distribuida (pequeña y mediana escala) para abastecer energía a escuelas públicas de nivel básico y 5 MW de centrales de generación solar fotovoltaica, con participación en el MEM.

Este programa contempla las siguientes fases de implementación:

1. Constitución de un fideicomiso con capacidad de inversión en centrales fotovoltaicas, administración de garantías financieras, participación en el MEM y formalización de contratos bilaterales de venta de energía (PPA) con las dependencias del Gobierno del Estado.
2. Establecimiento de un comité de transparencia para supervisión del fideicomiso.
3. Consolidación de un consorcio de empresas solares locales (integradores, proveedores e instaladores) y esquemas de certificación de productos y servicios.
4. Aportación de garantías financieras con recursos públicos de la federación, para apoyar la capacidad del programa de generar flujos de caja en su etapa inicial, derivados de los productos de ingresos de los PPA. El consorcio de empresas locales fungirá como ejecutor de la inversión requerida.

### *Programa de reconversión de subsidios a tarifas domésticas para la amortización de centrales de generación SFV*

Durante 2016, la SENER elaboró un análisis de los beneficios de la generación limpia distribuida y la eficiencia energética en México, cuyos resultados fueron publicados a inicios de 2017. De acuerdo con este análisis, la instalación de paneles solares con una capacidad individual de 1 kW en 680,000 hogares del país, permitiría al Gobierno un ahorro de 1,500 millones de pesos al año, así como reducir el consumo de electricidad hasta en 75%, evitar la emisión de alrededor de 1.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y ahorrar 680 millones de litros de agua al año.

Se prevé que, con base en este análisis, la SENER desarrollará en 2017 la política pública para promover esa modalidad de generación eléctrica. Sin embargo, para acelerar aún más el uso de paneles solares y equipos más eficientes en los hogares, se requerirán políticas públicas complementarias al marco legal y regulatorio que ha sido fortalecido con la reforma energética. Algunas de estas políticas orientarse a impulsar mecanismos de apoyo y/o estímulos económicos, mediante los cuales el gobierno federal podría compartir el ahorro con los usuarios y, de esa forma, fomentar la inversión en sistemas y equipos solares fotovoltaicos. Una política pública bien sustentada puede significar un puente entre los beneficios para el gobierno federal y para los usuarios.

Para atender esta situación, la industria creará un grupo de gestión ante el Gobierno Federal para impulsar el diseño de nuevos mecanismos que permitan redireccionar los subsidios ineficientes a las tarifas eléctricas hacia esquemas de inversión viables en sistemas fotovoltaicos que generen ahorros en el pago por electricidad de los usuarios.

### *Simplificación de procesos, desarrollo y fortalecimiento del marco regulatorio de SFV*

Derivado de la reforma energética se han emitido nuevas disposiciones y regulaciones que buscan agilizar y simplificar los procesos, así como garantizar nuevas disposiciones de orden ambiental y social, vinculadas al desarrollo de proyectos fotovoltaicos.

La implementación de dichos instrumentos por parte de los actores que intervienen en los procesos, supone grandes retos, principalmente debido a lo reciente de los cambios y al creciente interés por desarrollar nuevos proyectos de inversión en el ámbito solar en diferentes segmentos de aplicación.

Para identificar posibles inconsistencias en los nuevos procesos y regulaciones, los desarrolladores de proyectos crearán un grupo de interlocución para abordar estos temas con las entidades de los gobiernos federal y estatales.

Durante 2017, este grupo trabajará en la identificación de inconsistencias en la implementación de la regulación que podrían impactar de forma negativa en el desarrollo eficiente de proyectos. Asimismo, la industria solar apoyará el esfuerzo que realiza la SENER para implementar la Ventanilla Única de Proyectos de Energías Renovables, con la que se busca simplificar e integrar los trámites para la autorización de proyectos, y mejorar el ambiente de inversión en energías renovables.

### *Plataforma de impulso solar para el desarrollo de proyectos SFV*

A través de la ASOLMEX, y en colaboración con la SENER, GIZ y la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID), el sector privado presentó en 2016 la Iniciativa Solar – Impulso al desarrollo Solar SFV en México, que contiene acciones y recomendaciones para aprovechar en el largo plazo el potencial de la energía solar fotovoltaica en el país.

### *Grupo de interlocución de la industria solar fotovoltaica ante la ABM*

Las asociaciones de energía solar en México (ANES y ASOLMEX), que agrupan a las principales empresas en el país, conformarán un grupo de interlocución con el sector financiero mexicano para impulsar el desarrollo de productos financieros adecuados para aprovechar las oportunidades del mercado, tanto para generadores de electricidad como para consumidores que participan en el MEM. Además, este grupo buscará ampliar las opciones financieras para convertir y facilitar las soluciones solar fotovoltaicas como un *commodity*.

Este grupo contará con asistencia técnica que proveerá el Programa Energía Solar a Gran Escala de la GIZ a BANCOMEXT durante 2017 y 2018, para desarrollar nuevas capacidades y promover un mejor conocimiento de la estructuración financiera y evaluación de riesgos de proyectos fotovoltaicos de gran escala ante el nuevo entorno regulatorio y de mercado.

### *Identificación y vigilancia de las capacidades nacionales en la cadena de valor de la producción de energía solar fotovoltaica*

Hasta hace poco, la energía solar era un actor pequeño en el desarrollo de las energías renovables en México, incapaz de competir con la eólica y la hidroeléctrica. Su crecimiento se limitaba principalmente al mercado de autoabastecimiento, que estaba dispuesto a ofrecer algún tipo de respaldo financiero para el desarrollo de esta tecnología más cara.

En los últimos años, los mercados mexicano y global de energía solar han experimentado un auge, a medida que los costos de instalación han caído a mínimos históricos y han surgido nuevos mercados.

Ante el crecimiento exponencial esperado del mercado, se identificó la necesidad de contar con información sobre la evolución del mercado y las brechas en las capacidades nacionales dentro de la cadena de valor de la producción, para que el país pueda alcanzar sus metas de energías limpias.

Para atender esta necesidad, los sectores público y privado establecerán mecanismos de vigilancia y monitoreo del entorno de la industria solar fotovoltaica para generar información estratégica permanente con respecto a costos de la tecnología, oportunidades de inversión en la cadena de valor, brechas regulatorias respecto a la calidad de productos nacionales y de importación, análisis prospectivos de las diferentes tecnologías y segmentos del mercado, requerimientos de I+D y formación de recursos humanos.

### *I+D para la competitividad de la industria solar fotovoltaica*

Uno de los retos que enfrenta el país —y no sólo en el sector solar— es la escasa vinculación entre academia e industria. Ante ello, es necesario impulsar una mayor vinculación entre los centros de investigación y los diferentes actores de la industria solar para acelerar el desarrollo industrial, tecnológico y de recursos humanos, reducir las brechas entre la oferta y la demanda, y poner al país a la vanguardia en los próximos años.

Ante el nuevo entorno y sus oportunidades, los centros de investigación están haciendo esfuerzos por desarrollar portafolios de productos y servicios comercializables hacia la industria. Por su parte, algunas industrias han encontrado enormes ventajas y beneficios al cooperar con la academia. Sin embargo, falta difundir y vincular más las necesidades del sector privado con los servicios que puede ofrecer la academia.

Durante 2017, los centros de investigación acelerarán sus actividades de vinculación y cooperación con el sector industrial para identificar áreas de oportunidad para transferir una masa crítica de proyectos de I+D (materiales y procesos de manufactura prototipo) que están en desarrollo y que habrán de concluir en 2018, con el apoyo del Fondo de Sustentabilidad Energética.

En el largo plazo, los centros de investigación planean modelos de negocio para la creación y desarrollo de ciencia comercializable, que les permitan mantener su capacidad de innovación de nuevos componentes, procesos y servicios dentro de la cadena de valor de la industria solar. También se plantea reforzar la cooperación con centros de investigación y empresas de base tecnológica extranjeros, con el apoyo de fondos internacionales dedicados al desarrollo tecnológico e innovación enfocados a energías limpias.

La visión a largo plazo para impulsar de manera más eficiente la investigación y el desarrollo tecnológico solar de México, deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Desarrollar un marco y una estrategia de políticas integradas de I+D para abordar los principales retos y oportunidades del sistema energético de México, y reforzar y apoyar los objetivos energéticos de largo plazo.
- Establecer un sistema público independiente de evaluación periódica del desarrollo de la I+D en materia de energía solar, incluyendo la opinión de los usuarios a través de encuestas, con el fin de asegurar un impacto óptimo en los beneficios y oportunidades de inversión en proyectos de I+D.
- Considerar mecanismos de financiamiento más estables y predecibles para la I+D en materia de energía solar.
- Fortalecer los esfuerzos para movilizar al sector privado con el fin de facilitar una rápida comercialización y aprovechamiento de los resultados de I+D en energía solar.

### *Desarrollo de normas obligatorias de productos solares fotovoltaicos*

A nivel internacional existe una amplia gama de normas técnicas y certificaciones independientes que aseguran la calidad de los productos dentro de la cadena de valor de la energía fotovoltaica, lo cual facilita a las empresas productoras posicionarse de manera competitiva en los mercados local y global.

En México, se han hecho esfuerzos para desarrollar y adaptar normas internacionales al ámbito local; sin embargo, hasta ahora el cumplimiento de estas normas es de carácter voluntario y sólo es exigido y verificado por unas cuantas instituciones dedicadas principalmente al financiamiento de proyectos con apoyo de recursos públicos.

El GC identificó este aspecto como un factor estratégico para alcanzar un crecimiento sostenido del mercado y garantizar los beneficios esperados a los usuarios finales.

Desde 2015, el gobierno federal ha trabajado con algunos actores clave de la industria, la banca, agencias de normalización, y asociaciones, en el diseño y coordinación de un esquema común de acreditación de empresas proveedoras de energías renovables y eficiencia energética. Este esquema busca homologar los criterios mínimos de calidad de tecnologías, empresas y productos que participen en programas y proyectos sustentables apoyados con recursos públicos. Se prevé que durante 2017 se obtengan los primeros resultados en la certificación de empresas y productos con mayor crecimiento en el mercado.

Estas acciones permitirán identificar aprendizajes y áreas de oportunidad prioritarias para mejorar la gama actual de especificaciones y normas técnicas voluntarias y, en su caso, desarrollar nuevas normas. En una segunda etapa, se tiene prevista la publicación de normas oficiales mexicanas que establezcan las bases de certificación y verificación de eficiencia y calidad de módulos fotovoltaicos y equipos asociados que sean producidos y/o comercializados en el territorio nacional, así como la instalación de los mismos.

En México, la ANCE se encarga de emitir los sellos de certificación con base en las normas nacionales, y cuenta con un laboratorio acreditado para ello.

Como parte del reforzamiento de la infraestructura necesaria para evaluar el cumplimiento de las normas técnicas, el IER de la UNAM estableció el Laboratorio Nacional para la Evaluación de la Conformidad de Módulos y Componentes de Sistemas e Instalaciones Fotovoltaicas (LANESFV). Actualmente, el LANESFV cuenta con una metodología para realizar pruebas de intemperismo a módulos y componentes fotovoltaicos y así cumplir con la evaluación de tecnología conforme a la norma internacional IEC 61215. El LANESFV se encuentra en fase de certificación por parte de TÜV Rheinland Photovoltaic Testing Lab para acreditarse como laboratorio de ensayo, en el que se evalúa el sistema de gestión de calidad en los bancos de pruebas asociados a los ensayos que no requieren cámaras de intemperismo. La puesta en operación está prevista para 2018.

La industria solar fototérmica mexicana ha identificado proyectos específicos para mejorar las condiciones del mercado y generar información estratégica para el desarrollo de la cadena de valor, a través de las siguientes acciones concretas:

**TABLA 24. PROYECTOS PROPUESTOS PARA EL SECTOR SOLAR FOTOTÉRMICO EN MÉXICO**

Título del proyecto	Objetivo	Periodo	Actores clave	Hito
Análisis de contenido nacional para la industria solar térmica	Analizar el contenido nacional de la industria solar térmica con el fin de conocer el potencial actual de la industria, mediante la evaluación de competencias del sector.	2016-2018	ProMéxico, SE	6
Impulso al aprovechamiento de energía solar fototérmica por usuarios finales	Incentivar a usuarios finales a instalar equipos solares fototérmicos, para impulsar el uso de tecnologías solares por medio de incentivos tanto a usuarios como a fabricantes.	2016-2020	Sector público, industria solar, usuarios finales, banca, centros de investigación	5, 6
Identificación y establecimiento de normas obligatorias para el uso de energía solar fototérmica en vivienda	Promover el uso de tecnología solar fototérmica de baja temperatura mediante el establecimiento de normas obligatorias de uso.	2016-2018	CONUEE, Comité de Normalización NESO-13, industria solar, ANES, academia	1,5
Desarrollo de la cadena de valor para componentes críticos	Desarrollar la cadena de valor de componentes críticos para impulsar la proveeduría de materiales como vidrio solar, aislantes y superficies selectivas, al describir las actividades de las empresas que componen la industria solar.	2016-2018	FAMERAC, ProMéxico, SE	1,2,5
Promoción de la adopción de la tecnología CSP	Adoptar la tecnología CSP de manera que impacte en la disminución de costos y en el aumento en el financiamiento de este tipo de proyectos, para propiciar su desarrollo a gran escala.	2025	Grupo de interés de alto nivel	6

***Análisis del contenido nacional para la industria solar térmica***

En una primera etapa de la reforma energética, los esfuerzos institucionales coordinados se enfocaron en identificar áreas de mayor impacto en la cadena productiva de la industria solar fotovoltaica. En una segunda etapa, se busca caracterizar y analizar la cadena productiva de la industria fototérmica mexicana y detectar áreas donde se encuentre el mayor impacto económico en el país, para desarrollar estrategias específicas en el corto y mediano plazos.

Estas acciones comprenden la evaluación de competencias y de los recursos humanos requeridos, así como del mercado potencial y la capacidad de manufactura nacional, como un insumo para que las instancias públicas diseñen estrategias que permitan impulsar la cadena de valor en las áreas estratégicas identificadas y en las de mayor valor agregado.

### *Impulso al aprovechamiento de energía solar térmica por usuarios finales*

El crecimiento del mercado de energía solar térmica ha sido impulsado principalmente en el sector de la vivienda de interés social, a través de créditos con tasas preferenciales y subsidios otorgados por los programas públicos de vivienda sustentable en el país; en menor medida, este crecimiento también se promovió en el sector de agonegocios, mediante programas implementados por FIRCO y el Banco Mundial. A pesar del gran potencial de aplicación en otros sectores, como el sector servicios y el calentamiento solar para procesos industriales, hasta ahora existen incentivos limitados tanto para impulsar la oferta como para promover la demanda.

En 2015, el comité técnico del FOTEASE aprobó la ejecución del proyecto para la implementación de un mecanismo financiero piloto en la Península de Yucatán, con factor de réplica nacional, para fomentar el uso de sistemas de calentamiento solar de agua dentro del sector servicios —hoteles—. Dicho proyecto es implementado y coordinado por la CONUEE, con la participación del PNUD, el Banco Nacional de Comercio Exterior y el banco comercial Banbajío. Se tiene previsto que durante 2017 se instalarán los primeros sistemas solares térmicos en hoteles ubicados en los estados que comprende la iniciativa.

Otro sector poco explorado es el sector industrial. La industria es un sector clave de la economía nacional, que demanda grandes cantidades de energía térmica para mantener la operación de sus procesos de producción. Para acelerar el aprovechamiento de la energía solar térmica en la industria, el gobierno federal, a través de la SENER y la CONUEE, en cooperación con la GIZ y ANES, inició en 2016 el diseño de un programa para la promoción del uso de calor solar en procesos industriales. Este programa tiene el objetivo de crear una plataforma interinstitucional con la participación de actores clave, relacionados e interesados en la generación de calor solar para procesos industriales, para acordar y ejecutar acciones concretas para capitalizar las oportunidades del mercado emergente de tecnologías solares térmicas de baja y media temperaturas en el país. Se busca explorar el potencial rentable para incrementar el uso de energías renovables en el sector de calor, con el fin de reducir el uso de combustibles fósiles y, en consecuencia, reducir emisiones y mejorar la seguridad energética.

### *Identificación y establecimiento de normas obligatorias para el uso de energía solar fototérmica en vivienda*

La penetración de colectores solares de agua en el mercado mexicano ha sido impulsada en gran medida por los esfuerzos del gobierno federal para promover la construcción o remodelación de vivienda social sustentable. Desde el punto de vista de oferta de la tecnología, en México se han desarrollado normas técnicas voluntarias —exigidas sólo por programas que cuentan con apoyo del gobierno federal— para evaluar el rendimiento térmico (pruebas y etiquetado) y la instalación, pero no existen normas obligatorias que garanticen una calidad mínima para el mercado abierto. Esta situación ha derivado en la penetración de una amplia gama de sistemas solares con estándares de calidad muy diversos, en ocasiones por debajo de los requerimientos mínimos necesarios para garantizar su correcto funcionamiento durante el periodo esperado por los usuarios y por las entidades financieras.

Por el lado de la demanda, existen casos de referencia a nivel internacional en donde se ha establecido la obligatoriedad de la instalación de calentadores solares en viviendas, como parte de políticas nacionales de sustentabilidad e impulso a la industria local. En México existe un gran potencial en el ámbito local que no se aprovecha. Los casos en los que se ha establecido la obligatoriedad de la instalación de calentadores solares de agua en vivienda en los reglamentos de construcción, son escasos, debido a que no hay normas técnicas aplicables a nivel nacional, y a nivel local no se cuenta con la experiencia ni capacidades necesarias para verificar el cumplimiento de dichas normas.

En 2015, como organismo público encargado de promover la normalización en materia de eficiencia energética, la CONUEE llevó a cabo un proceso participativo para elaborar el Proyecto de NOM PROY-NOM-027-ENER/SCFI-2016 para regular las especificaciones, métodos de prueba y etiquetado de calentadores solares de agua con y sin respaldo de calentador de gas LP. Actualmente

el proyecto de norma obligatoria se encuentra en proceso de consulta pública, que se prevé que concluya en 2017. El siguiente paso sería su publicación oficial, para obligar su cumplimiento en todo el territorio nacional.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) utilizan como referencia normas complementarias nacionales e internacionales. Durante 2017, el Comité de Normalización Nacional para Energía Solar (NESO-13), estructura facultada para desarrollar NOM en el ámbito de energía solar térmica, trabajará de manera conjunta con la industria solar, el sector público y la academia, en la actualización de las normas existentes conforme a la norma internacional ISO 9806:2013, para ampliar la gama de tipos de tecnologías y métodos de prueba. Asimismo, se elaborarán tres nuevas normas que se consideran críticas para un adecuado desarrollo del mercado:

- Especificaciones mínimas para la instalación y dimensionamiento de sistemas de calentamiento solar tipo termosifón.
- Sistemas solares térmicos y sus componentes instalaciones a medida (especificaciones generales del diseño y especificaciones para los componentes y métodos de simulación para determinar el rendimiento anual).
- Especificaciones mínimas para la instalación y dimensionamiento de sistemas de calentamiento solar (especificaciones mínimas de instalación y operación que deben cumplir los sistemas de calentamiento solar).

### *Desarrollo de cadena de valor para componentes críticos*

La industria mexicana de colectores solares de agua cuenta con una capacidad de manufactura importante para satisfacer la demanda nacional y, en algunos casos, la demanda en mercados emergentes regionales. Esta industria depende del suministro de componentes críticos como el vidrio solar, aislantes y superficies selectivas; algunos de ellos son fabricados en el país, pero otros son suministrados a través de cadenas globales, las cuales están sujetas a disponibilidad y a los precios internacionales.

Para mantener la producción de colectores solares requerida en el mercado local y ampliar la capacidad de manufactura para el mercado de exportación, la industria solar impulsará la proveeduría de dichos materiales a través de estrategias de inversión (nacional y extranjera, y *joint ventures*).

Como parte de este MR, se ha definido como un primer paso la consolidación de un centro de I+D tecnológico de la empresa mexicana Módulo Solar, en el estado de Morelos, así como la puesta en marcha de una planta piloto para el desarrollo de colectores solares y sistemas con materiales novedosos. El centro, previsto para entrar en operación en 2017 cuenta con el apoyo del Conacyt, la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología del Gobierno del Estado de Morelos, y diversas universidades nacionales (UNAM, UAEM, UADEC).

De manera paralela, la industria, en coordinación con las entidades encargadas de atracción de inversiones y desarrollo industrial, realizará actividades enfocadas al desarrollo de cadenas de valor, entre ellas:

- Evaluar el mercado potencial de la industria solar y otras industrias que requieran la proveeduría de este tipo de componentes.
- Identificar proveedores locales e internacionales que estén interesados en establecer o ampliar la proveeduría de componentes.
- Diseñar estrategias de atracción de inversiones y alianzas estratégicas con el apoyo de las entidades públicas encargadas del desarrollo de cadenas de valor en el sector energético.

### *Promoción de la tecnología CSP*

La generación de electricidad a partir de energía solar fotovoltaica de gran escala se perfila como uno de los elementos clave en los próximos años, junto con la energía eólica, para alcanzar las metas de energías limpias que México se ha planteado.

En contraste, el despliegue de la tecnología de CSP ha sido limitado hasta ahora, principalmente por los altos costos de la tecnología y un número limitado de proyectos demostrativos que permitan mostrar la viabilidad en inversiones públicas y privadas, especialmente en los mercados emergentes de alto riesgo.

A nivel internacional, las plantas solares de gran escala, tanto solares fotovoltaicas como CSP, cobran cada vez más relevancia dentro del sector eléctrico y en el sistema energético del futuro. Así, las tecnologías solares se han vuelto cada vez más competitivas frente a los combustibles fósiles.

Por ello, se plantea la necesidad de reactivar la discusión nacional sobre la viabilidad de esta tecnología y aprovechar las experiencias internacionales en cuanto al desarrollo tecnológico, financiamiento y diseño de políticas públicas, para incorporar centrales CSP en los nuevos modelos energéticos en transición.

Este MR propone integrar un grupo de alto nivel con interés en el desarrollo de CSP en México, conformado por encargados del diseño de políticas públicas y planeación del sector de energía, el sector privado y de investigación.

Durante 2017 y 2018, se promoverá la inserción de México en plataformas globales enfocadas en el desarrollo y financiamiento de centrales solares a gran escala, con el fin de abrir el diálogo y el intercambio con representantes de los sectores privado y de investigación a nivel internacional.

En el mediano y largo plazos, se identificarán los retos y oportunidades para la incorporación de centrales CSP en el nuevo mercado eléctrico mexicano, para desarrollar una estrategia concreta de evaluación e implementación hacia el futuro, que considere los requerimientos de recursos humanos, desarrollo tecnológico y de cadenas de valor nacional, así como aprovechar la disponibilidad de fondos internacionales para la tecnología y desarrollar nuevos modelos de financiamiento adecuados al contexto mexicano.

### 3.13.1 Proyectos transversales

Durante el desarrollo del MR, se identificaron impulsores transversales para las industrias solar fotovoltaica y solar fototérmica, con el fin de promover la agenda de desarrollo de la industria de energías renovables en su conjunto. Uno de estos impulsores es el establecimiento de una cámara fuerte, que coadyuve en la implementación de la reforma energética, y que defina una agenda común del sector que contribuya a eliminar barreras políticas y operativas para el desarrollo de las energías renovables en el país.

La industria solar también ha planteado la necesidad de reforzar las capacidades del sector público para integrar y gestionar de forma más eficiente las iniciativas del gobierno federal en materia de mecanismos financieros y normativa aplicable a las tecnologías disponibles en el mercado. Esto permitiría, además, crear condiciones favorables para otras tecnologías emergentes con potencial de implementación en el país.

**TABLA 25. PROYECTOS TRANSVERSALES PROPUESTOS PARA EL SECTOR SOLAR EN MÉXICO**

Título del proyecto	Objetivo
Formación de una Cámara de Energías Renovables	Generar un organismo industrial que permita la gestión de nuevas normas y de alternativas de solución a las necesidades del sector.
Creación de una Comisión Nacional de Energías Renovables.	Crear una institución de energías renovables a nivel federal que impulse, gestione y proporcione financiamiento, así como normativa propia.

## 3.14 DIAGRAMA DEL MR

A partir de los diagnósticos situacionales y prospectivos de la energía solar, y de los impulsores prioritarios analizados, se generaron las estrategias que conforman el MR para la industria solar, tanto fotovoltaica (figura 16) como fototérmica (figura 17).

Debido a la complejidad del sector y a la necesidad de focalizar los esfuerzos, para la elaboración del MR el GC priorizó y seleccionó dos de los cinco hitos estratégicos propuestos para de la industria solar fotovoltaica y dos de los seis que se plantearon para la industria solar fototérmica.

### 3.14.1 MR de energía solar fotovoltaica en México 2016-2035

#### *Hitos seleccionados*

- La electricidad solar fotovoltaica representa 70% de la energía limpia adicional requerida para 2030.
- Las empresas mexicanas aportan 80% de los subcomponentes necesarios para la fabricación de equipos en México en 2030.

Para alcanzar los hitos seleccionados, la industria propuso proyectos estratégicos que involucran a diversos actores del ecosistema industrial energético en México. Este sector se verá favorecido por el desarrollo de estrategias en otros sectores como diseño, manufactura avanzada, aeroespacial y automotriz.

El objetivo de que 70% de la energía limpia adicional requerida tenga origen en la tecnología solar, está respaldado por diversos proyectos de corto, mediano y largo plazos. En el corto plazo, uno de los proyectos más importantes que se plantean es la creación de un grupo de especialistas en la industria con capacidad para realizar gestiones con las autoridades responsables, en especial en materia de transparencia de la información relativa a capacidad de generación por región y a la capacidad disponible de las líneas de transmisión e interconexión. Además, este grupo trabajará en acciones como la simplificación de procesos y emitirá recomendaciones normativas para la reconversión de subsidios.

Entre los proyectos de mediano y largo plazo, se proponen estrategias para impulsar la generación distribuida hasta alcanzar la instalación de equipos de 1 kW en por lo menos 4 millones de casas en todo el país, así como impulsar la adopción de modelos de autogeneración entre individuos e industrias pequeñas, mediante incentivos que les permitan identificar las ventajas competitivas de estos esquemas en el mediano plazo.

El hito de impulsar el desarrollo del ecosistema industrial nacional para su integración en la cadena de proveeduría está soportado por una serie de proyectos enfocados a identificar las capacidades actuales de la industria nacional y desarrollar normas que impulsen y fomenten el contenido nacional. Asimismo, se identificó como un pilar de este hito el impulso a la innovación y el desarrollo tecnológico, a través de centros de investigación y su vinculación con la industria.

Finalmente, se definieron proyectos transversales a las industrias solar fototérmica y solar fotovoltaica, como la formación de capital humano y la implementación programas de certificación y capacitación para impulsar la calidad de los técnicos, desarrolladores, operadores y del personal de instalación que se requiere para impulsar un desarrollo sostenido de ambas industrias.

### 3.14.2 MR de energía solar fototérmica en México 2016-2035

#### *Hitos seleccionados*

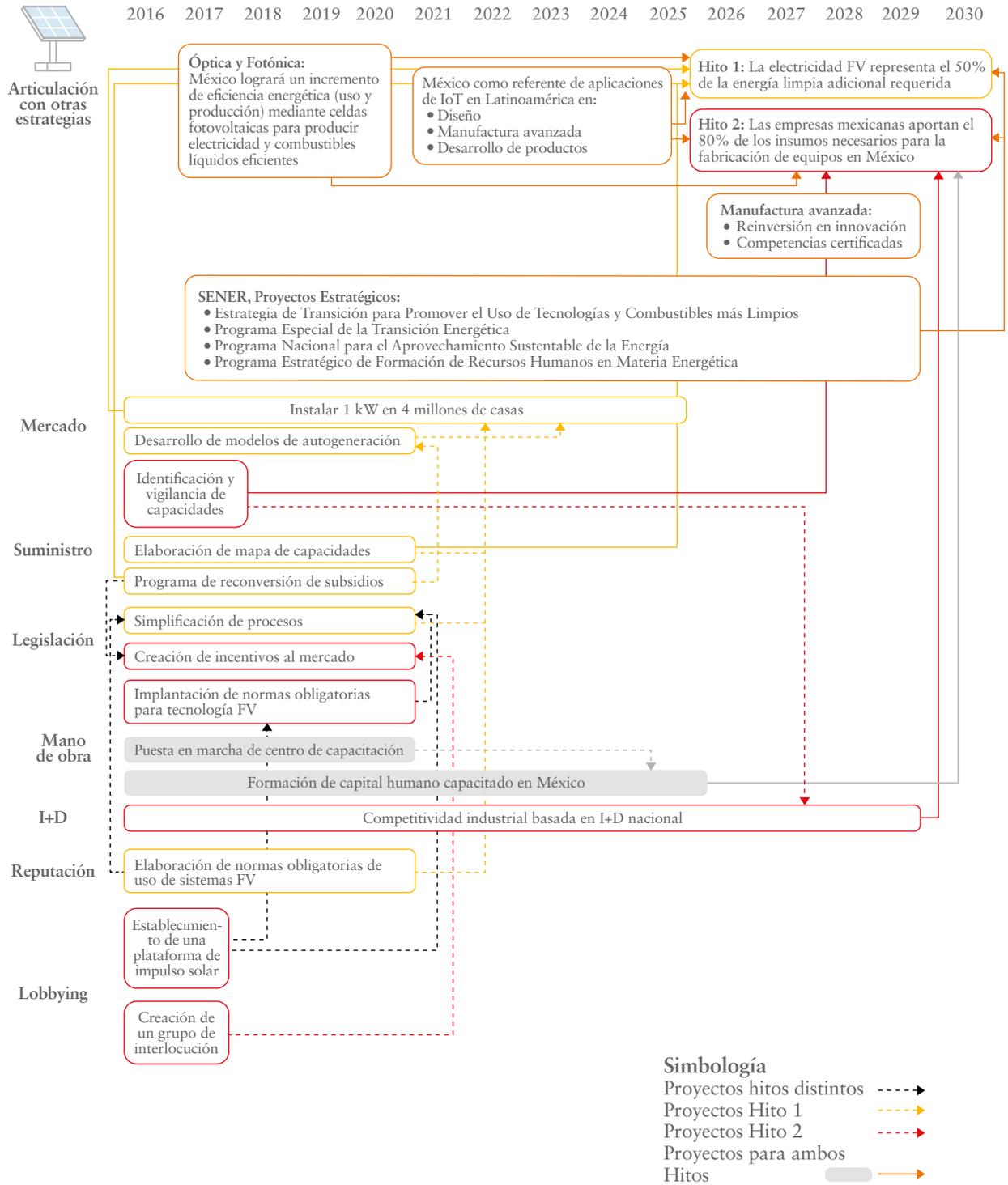
- Existen normas obligatorias mexicanas para tecnología solar térmica (2017).
- Inauguración de una planta de potencia para generar electricidad (2025).

Al igual que la industria solar fotovoltaica, la industria solar fototérmica se verá impactada por tendencias, programas y proyectos que diversos actores del ecosistema industrial energético en México y en el mundo están desarrollando. Esta industria también se verá favorecida por el desarrollo de estrategias en otros sectores como diseño, manufactura avanzada, aeroespacial y automotriz.

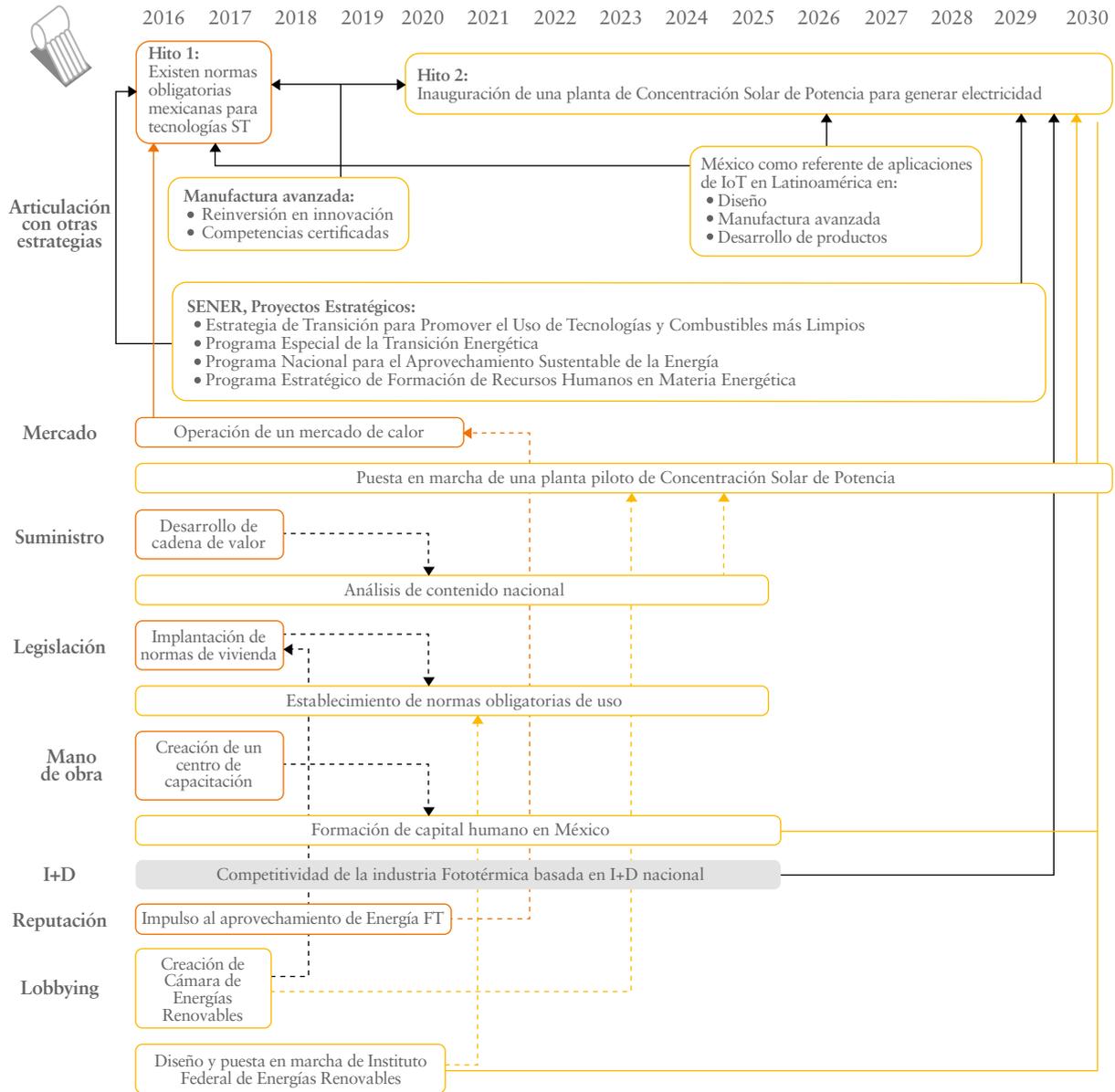
El primer hito seleccionado está sustentado en proyectos de implementación de normas en viviendas para impulsar el uso de tecnología solar térmica, la eficiencia energética y la disminución de emisiones de GEI. Se busca establecer normas para identificar a empresas que garanticen la confiabilidad de equipos solares térmicos, y evitar la proliferación de empresas que no cumplan con estándares mínimos de calidad. Se propone crear un mapa de capacidades que integre las certificaciones y capacidades reales de empresas, equipos y personal.

En una visión de largo plazo, la industria ha planteado la incursión de la tecnología en proyectos de generación eléctrica para medianas y grandes empresas, mediante el establecimiento de una planta piloto de CSP para el año 2025. Este hito impulsará el desarrollo tecnológico en México, la adopción de nuevas tecnologías, y el desarrollo de empresas nacionales y del capital humano necesario para esta operación.

**FIGURA 16. MR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN MÉXICO, 2016-2035 (HITOS SELECCIONADOS)**



**FIGURA 17. MR DE ENERGÍA SOLAR FOTOTÉRMICA EN MÉXICO, 2016-2035 (HITOS SELECCIONADOS)**



**Simbología**  
 Proyectos hitos distintos ----->  
 Proyectos Hito 1 - - - - ->  
 Proyectos Hito 2 - - - - ->  
 Proyectos para ambos hitos - - - - ->  
 Hitos - - - - ->



**CONCLUSIONES**





## CONCLUSIONES DEL MR

Este MR integra las líneas estratégicas y proyectos que permitirán alcanzar los hitos establecidos, y define el ámbito de competencia y responsabilidad de los actores involucrados en el desarrollo de estas estrategias (sectores público y privado, academia y sociedad).

El MR recoge la visión de la industria para entender la problemática del sector solar —fotovoltaico y fototérmico—; a partir del diagnóstico de la situación actual y prospectiva, se realizó un análisis FODA y de las principales tendencias en el sector, para construir una visión de futuro, identificando los programas y proyectos necesarios para su consecución.

A fin de contar con productos, procesos y servicios de alta calidad y ser competitivos a nivel internacional, se identificó la necesidad de elevar los estándares de calidad en el sector; en particular, hay interés en el diseño de normas nacionales obligatorias —que tengan correspondencia con los estándares internacionales—, por lo que para ambos subsectores se establecieron hitos y se propusieron proyectos en la materia.

Si bien se identificaron problemáticas específicas para cada uno de los segmentos que integran el sector eléctrico solar mexicano, se detectaron puntos de convergencia en rubros como la necesidad de mayor inversión en I+D, la consolidación del capital humano para apoyar el desarrollo de sector, la generación de alianzas entre empresas dentro y fuera del sector, y la generación de normativa que regule tanto al mercado como a la industria.

### *Sector fotovoltaico*

La industria solar fotovoltaica se encuentra dividida en dos grandes segmentos: el mercado mayorista, con proyectos a gran escala y jugadores con potencial internacional, y la generación distribuida, que puede impulsar el desarrollo económico regional compatible con el cuidado al medio ambiente. Estos segmentos demandan estrategias diferenciadas para desarrollar capacidades nacionales y regionales. Se requiere impulsar una mayor comunicación entre el gobierno y la industria para conocer de forma oportuna y transparente la información estratégica para el desarrollo de proyectos a gran escala. La información sobre la capacidad y disponibilidad de la red de transmisión de energía eléctrica es un factor clave para el desarrollo de proyectos.

Existe un gran potencial para la generación distribuida basada en el aprovechamiento de energía solar. Para aprovecharlo, es necesario impulsar políticas públicas que contribuyan a socializar el uso de estas tecnologías; asimismo, es necesario evaluar y validar las capacidades del capital humano técnico especializado.

Es fundamental contar con un mapa del ecosistema de la industria solar nacional en todos los segmentos de la cadena de valor, para identificar a las empresas que puedan suministrar los insumos requeridos por la industria; de esta forma se podría mejorar la competitividad del sector. Actualmente se cuenta con una base importante de empresas en la industria, pero hay retos que requieren atención, como los servicios de mantenimiento, la ingeniería de construcción de los parques solares, manufactura de equipos y componentes, una red de suministro de repuestos, entre otros. Además, para atraer inversión extranjera con una visión de transferencia de conocimientos, es necesario desarrollar servicios especializados.

Existe una necesidad clara de desarrollo y fortalecimiento del capital humano y de las certificaciones de las empresas, que podría resolverse mediante el establecimiento de un centro internacional de capacitación y certificación. La formación de capital humano altamente especializado permitirá alcanzar estándares internacionales y un nivel de competitividad que refuerce el atractivo de México para el desarrollo de proyectos y la manufactura de equipos y componentes.

### *Sector fototérmico*

En México, las tecnologías de CSA se utilizan principalmente para calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios en el sector residencial. Este mercado está dentro de los 10 principales a nivel mundial; en 2016, se contabilizaron más de tres millones de metros cuadrados de captadores solares instalados.

Es necesario impulsar el desarrollo de normas obligatorias específicas para fomentar el crecimiento de la industria a través de la estandarización de los niveles de calidad en las instalaciones de equipos solares térmicos.

Además, se requiere promover entre las familias del país una visión de utilidad sobre la instalación de estos equipos, por lo que es necesario combatir a las empresas que utilizan equipos de baja calidad o realizan instalaciones deficientes, con publicidad engañosa.

Asimismo, es necesario impulsar la adopción de la tecnología solar térmica de concentración para uso industrial de mediana y alta temperatura, y establecer proyectos emblemáticos que permitan direccionar los esfuerzos de la industria, como podría ser una planta CSP de generación de electricidad.

Al igual que la industria solar fotovoltaica, la industria solar térmica requiere el desarrollo y fortalecimiento de capital humano a través del desarrollo de un centro internacional de capacitación y certificación. Esta estrategia de formación de capital humano altamente especializado permitirá alcanzar estándares internacionales de calidad.

Este documento define una visión estratégica construida desde la industria en colaboración con el gobierno, la academia y la sociedad civil, en una coyuntura concreta; plantea una serie de directrices definidas a partir de la información disponible en el momento de su desarrollo, por lo que es necesaria su actualización periódica para medir las acciones realizadas, evaluar los avances y diseñar nuevas estrategias que permitan continuar o redireccionar las estrategias planteadas. Este es un documento vivo, que demanda una participación constante de los actores involucrados para la ejecución de las estrategias y de los programas que en él se proponen.

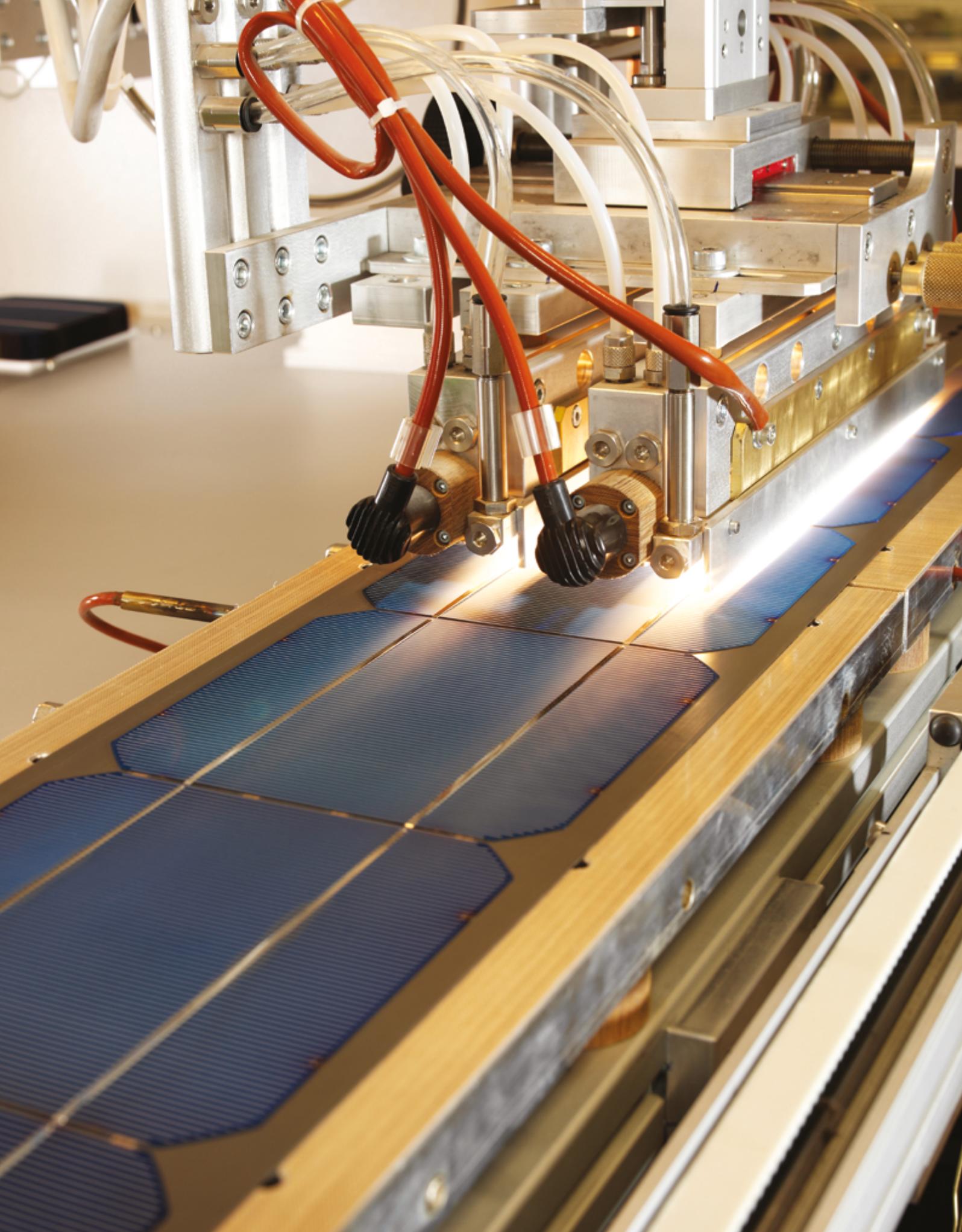
Finalmente, es importante destacar que las políticas públicas y proyectos estratégicos planteados para el desarrollo del mercado de energía solar en México —en el contexto social actual y futuro—, exigen la participación del gobierno, las empresas, la academia y la sociedad civil. Así, el presente documento integra la visión de la triple hélice y determina una estrategia general para alcanzar los objetivos de la transición energética de los hidrocarburos a las energías renovables.

# INSTITUCIONES PARTICIPANTES



**ANNEXO 1**





# MATRIZ DE CAPACIDADES, PRODUCTOS, PROCESOS Y SERVICIOS

---

La planeación estratégica es el proceso mediante el cual los tomadores de decisiones dentro de una organización obtienen, procesan y analizan información pertinente, tanto interna como externa, para evaluar la situación presente de la empresa, así como su nivel de competitividad, con el propósito de anticipar y decidir sobre el direccionamiento que le darán a la misma (Grant, 2006).

En su sentido más amplio, la planeación estratégica tiene tres niveles de análisis: el diagnóstico del macroentorno o global, el diagnóstico del microentorno, y el diagnóstico interno de la organización. Este último tiene como objetivo identificar y evaluar las capacidades internas de la organización, es decir, sus fortalezas y debilidades; para ello se han desarrollado múltiples herramientas, como la matriz de fortalezas, la cual permite captar y representar visualmente la acumulación de conocimiento de una empresa en el contexto de un sector industrial, ya sea global o local, integrando elementos de la cadena de valor y las capacidades tecnológicas (Grant, 2006).

Tapias define las capacidades como los recursos —tangibles e intangibles— necesarios para generar y gestionar una tecnología, incluyendo habilidades, conocimientos, experiencias, sistemas organizacionales, estructura institucional y vínculos. Las capacidades son de naturaleza específica de la empresa, y son una forma de conocimiento institucional acumulado a lo largo del tiempo dentro de la misma; son cruciales en la construcción y mantenimiento de la competitividad, así como para elaborar lo que una empresa produce, y mejorar o cambiar sus productos y procesos (Tapias, 2005).

Como parte del presente MR, con el fin de promocionar a nivel nacional e internacional las capacidades de desarrollo tecnológico, tanto del sector en su conjunto como de las empresas de forma individual, y contribuir así al desarrollo del sector, se planteó la necesidad de elaborar un inventario detallado de las capacidades de la ISM, que incluya tanto las capacidades de producción —tecnologías de procesamiento y ensamblaje para fabricar un producto conforme a las especificaciones e instrucciones o tecnología de funcionamiento— como los conocimientos de gestión de la producción —tecnología para diseñar y gestionar sistemas de producción de equipos, materiales, piezas, recursos humanos (trabajadores de la producción, supervisores e ingenieros— y la información sobre la fabricación de procesos.

En este contexto y a partir del trabajo realizado con el GC, se definieron de manera consensuada las capacidades tecnológicas a inventariar tanto para la industria solar fotovoltaica como para la fototérmica —de alta y baja temperatura—. Esta matriz será utilizada como base para construir el inventario de capacidades de la ISM, ya sea a través de entrevistas o de un cuestionario en línea.





















EMPRESA	CLASIFICACIÓN DE EMPRESA		MODULOS		INVERSORES		CONTROL DE ENERGÍA		BOS		
	EMPRESA	TIPO DE PROYECTO	CÉLULA	PANEL SOLAR	INVERSOR DE CORRIENTE CENTRAL	OTROS INVERSORES	REGULADOR DE CARGA	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	ESTRUCUTRA DE MONTAJE	OBRA CIVIL
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidades y certificaciones (1)</li> <li>Recubrimientos</li> <li>Desarrollo de productos químicos</li> <li>Diseno (D)</li> <li>Diseño e ingeniería (D&amp;I)</li> <li>Laboratorio (l)</li> <li>Tratamiento de calor (TC)</li> <li>Investigación y desarrollo (I&amp;D)</li> <li>Manufactura/ fabricante (MF)</li> <li>Montaje, instalación y operaciones (MRO)</li> <li>Ensayos de materiales</li> <li>Ensayos no destructivos (END)</li> <li>Mecanizado no convencional</li> <li>Mejoramiento de las superficies (MS)</li> <li>Soldadura (SO)</li> <li>Distribuidor (DS)</li> </ul>										
OPERADOR											
EPCM											
EPC											
PROVEEDOR	X										
FINANCIERA											
GRAN ESCALA		X									
GENERACIÓN DISRIBUIDA											
SILICIO MONOCRISTALINO; POLICRISTALINO; AMORFO			DIS								
SEMICONDUCTOR TIPO N Y TIPO P											
REJILLA METALICA											
DISODO											
TERMINALES DE CONEXIÓN											
MODULO											
MARCO DE ALUMINIO					DIS						
JUNTA DE SILICONA					DIS						
VIDRIO					DIS						
ENCAMPSULANTE					DIS						
SISTEMA DE CONEXIONADO					DIS						
INVERSORES TRIFÁSICOS GRADO DE PROTECCIÓN INTERIOR, SISTEMA DE 1000 VCD											
INVERSORES TRIFÁSICOS GRADO DE PROTECCIÓN EXTERIOR, PARA SISTEMAS DE 1000 VCD											
INVERSORES TRIFÁSICOS GRADO DE PROTECCIÓN EXTERIOR, SISTEMA DE 1500 VCD											
INVERSORES TRIFÁSICOS GRADO DE PROTECCIÓN EXTERIOR, PARA SISTEMAS DE 1000 VCD (INVERSORES DESCENTRALIZADOS)					DIS						
INVERSOR / CARGADOR PARA APLICACIONES OFF-GRID											
CONTROLADORES DE RECARGA (MPPT), PARA SISTEMAS DE 150 VDC-->24,48 VDC											
CONTROLADORES DE RECARGA (MPPT), PARA SISTEMAS DE 600 VDC-->24,48, 60, 72 VDC											
PVBOX (INTEGRACIÓN DE INVERSORES, TRANSFORMADOR, SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL, EQUIPO DE MT, CONTENEDOR);											
PLOMO-ACIDA											
NI-CD (NIQUEL-CADMIO)											
CELIDAS DE HIDRÓGENO											
NI-MH (NIQUEL - METAL HYDRIDE)								DIS			
LI ION (IÓN LITIO)								DIS			
TARJETAS ELECTRÓNICAS								DIS			
INTERCONECTADOS A LA RED ELECTRICA								DIS			
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA (SUBESTACIÓN DE INTERCONEXIÓN)								DIS			
SOPORTE DE TECHO / ESTRUCTURA									DIS		
ANCLAJE EN TIERRA									DIS		
TORNILLOS Y ABRAZADERAS									DIS		
BASTIDOR / PERFILES									DIS		
JUEGOS DE SOPORTE									DIS		
CEMENTACIÓN									MS	M/S	D&I
ACONDICIONAMIENTO FÍSICO (TERRENO) / PLANEAR									MS	M/S	D&I
TOMA DE TIERRA									D&I		D&I
<b>SONORA</b>											
ASELEC SOLAR											
CREA-TECH ENERGIAS											
ECOVIS											
PUEBLO SOLAR	X										
<b>VERACRUZ</b>											
GEOTECNIA		X									
ONLYSUN		X	X								
<b>YUCATÁN</b>											
ENERGÍA Y TECNOLOGÍA ALTERNATIVA			X								
MÓDULO SOLAR											
SOLAR-SOL	X										





BOS		PROCESOS TRANSVERSALES										CERTIFICACIONES / ESTANDARES																					
OBRA CIVIL		MATERIALES										PERSONAL (TÉCNICOS/INGENIEROS/DISEÑADORES)																					
ELECTRIC		MATERIALES										INTERNACIONALES																					
CONTROL		MATERIALES										ESTANDARES																					
SERVICIOS COMPLEMENTARIOS		MATERIALES										ESTANDARES																					
CEMENTACIÓN																																	
ACONDICIONAMIENTO FÍSICO																																	
RESISTENCIA ELÉCTRICA																																	
CABLES																																	
PANEL DE CONTROL																																	
REGULADOR TÉRMICO																																	
SENSORES DE TEMPERATURA																																	
SENSORES DE VELOCIDAD DE FLUJO																																	
LOGÍSTICA																																	
ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS (FINANCIERO, CAPITAL HUMANO, ETC)																																	
DISEÑO DE PROYECTOS TÉCNICOS																																	
PRUEBAS DE OPERACIÓN																																	
ASPERO																																	
TERMINADO																																	
CORTE																																	
FORJA																																	
MODELADO																																	
LAMINADO																																	
TRATAMIENTO TÉRMICO																																	
TRATAMIENTOS Y RECUBRIMIENTOS																																	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL																																	
FLOATING GLASS PRODUCTION																																	
VACUUM TUBE PRODUCTION																																	
FUNDICIÓN																																	
UNIÓN (SOLDADURA)																																	
PLÁSTICOS																																	
ACERO																																	
ACERO INOXIDABLE																																	
ALUMINO																																	
COBRE																																	
TITANIO																																	
POLÍMEROS																																	
RESIN (MELAMIN RESIN FOAM)																																	
ALEACIONES																																	
EC-0325 - INSTALACION DE SISTEMAS TERMOSIFÓNICOS																																	
EC 0473 - SISTEMAS A CIRCULACIÓN FORZADA																																	
DISEÑADORES DE INSTALACIONES SOLARES																																	
PERITOS EN ENERGÍAS RENOVABLES																																	
EVALUADORES DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES (ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACIÓN)																																	
SOLARKEYMARK (EUROPE)																																	
SRCC (USA)																																	
DIBT (GERMANY)																																	
USEC (USA)																																	
SHAMCI (NORTHERN AFRICA)																																	
GOLDEN SUN LABEL (CHINA)																																	
SAI GLOBAL (AUSTRALIA)																																	
NMX (ES 001, ES 003, ES 004)																																	
DTESTV																																	
SOLAR KEYMARK																																	
ISO (9000, 9806, 9459, 14001)																																	
EN 12976, 12977, 13333																																	
ANSI/ASHRAE 93 1986																																	
AS/NZS 2712																																	
SANS 6211, 1307																																	
CAN/CSA-F378-87																																	





**ANEXOS**





# DIRECTORIO DE EMPRESAS Y ORGANISMOS PARTICIPANTES

Empresa/Institución	Página web
SE	<a href="http://www.gob.mx">www.gob.mx</a>
SENER	<a href="http://www.gob.mx/sener">www.gob.mx/sener</a>
GIZ	<a href="http://www.giz.de/en/worldwide/306.html">www.giz.de/en/worldwide/306.html</a>
Fraunhofer ISE	<a href="http://www.ise.fraunhofer.de">www.ise.fraunhofer.de</a>
IER-UNAM	<a href="http://www.ier.unam.mx">www.ier.unam.mx</a>
AMDEE	<a href="http://www.amdee.org">www.amdee.org</a>
AMFEF	<a href="http://www.amfef.mx">www.amfef.mx</a>
ANES	<a href="http://www.anes.org">www.anes.org</a>
ASOLMEX	<a href="http://www.asolmex.org">www.asolmex.org</a>
CFE/Generación	<a href="http://www.cfe.gob.mx">www.cfe.gob.mx</a>
EATON	<a href="http://www.eaton.mx">www.eaton.mx</a>
Energía Pueblo Solar	
Eqysol	<a href="http://www.eqysol.com">www.eqysol.com</a>
Gauss Energía	<a href="http://www.gauss.com.mx">www.gauss.com.mx</a>
Gobierno del Estado de Yucatán (Secretaría de Fomento Económico)	<a href="http://www.sefoe.yucatan.gob.mx">www.sefoe.yucatan.gob.mx</a>
Gobierno del Estado de Baja California	<a href="http://www.bajacalifornia.gob.mx">www.bajacalifornia.gob.mx</a>
Gobierno del Estado de México (Coordinación de Fomento Económico y Competitividad)	<a href="http://www.cofec.edomex.gob.mx">www.cofec.edomex.gob.mx</a>
Gobierno del Estado de Morelos	<a href="http://www.morelos.gob.mx">www.morelos.gob.mx</a>
Gobierno del Estado de Sonora	<a href="http://www.sonora.gob.mx">www.sonora.gob.mx</a>
Heliocol de México	<a href="http://www.heliocol.com.mx">www.heliocol.com.mx</a>
Helios	<a href="http://www.helios.de">www.helios.de</a>
Helios Energía Solar	<a href="http://www.heliosenergiasolar.com">www.heliosenergiasolar.com</a>
INEEL	<a href="http://www.gob.mx/ineel">www.gob.mx/ineel</a>
Internovum Solar	<a href="http://www.internovumsolar.com">www.internovumsolar.com</a>
IUSASOL	<a href="http://www.iusasol.m">www.iusasol.m</a>
Modulo Solar	<a href="http://www.modulosolar.com.mx">www.modulosolar.com.mx</a>
ProMéxico	<a href="http://www.gob.mx/promexico">www.gob.mx/promexico</a>
Schneider Electric	<a href="http://www.schneider-electric.com.mx/es">www.schneider-electric.com.mx/es</a>
Solarcentury	<a href="http://www.solarcentury.com/es">www.solarcentury.com/es</a>
SolarCity	<a href="http://www.solarcity.com">www.solarcity.com</a>
Solartec	<a href="http://www.solartec.mx">www.solartec.mx</a>
Sunpower	<a href="http://us.sunpower.com">us.sunpower.com</a>
TÜVRheinland	<a href="http://www.tuv.com/mexico/es">www.tuv.com/mexico/es</a>

# BIBLIOGRAFÍA

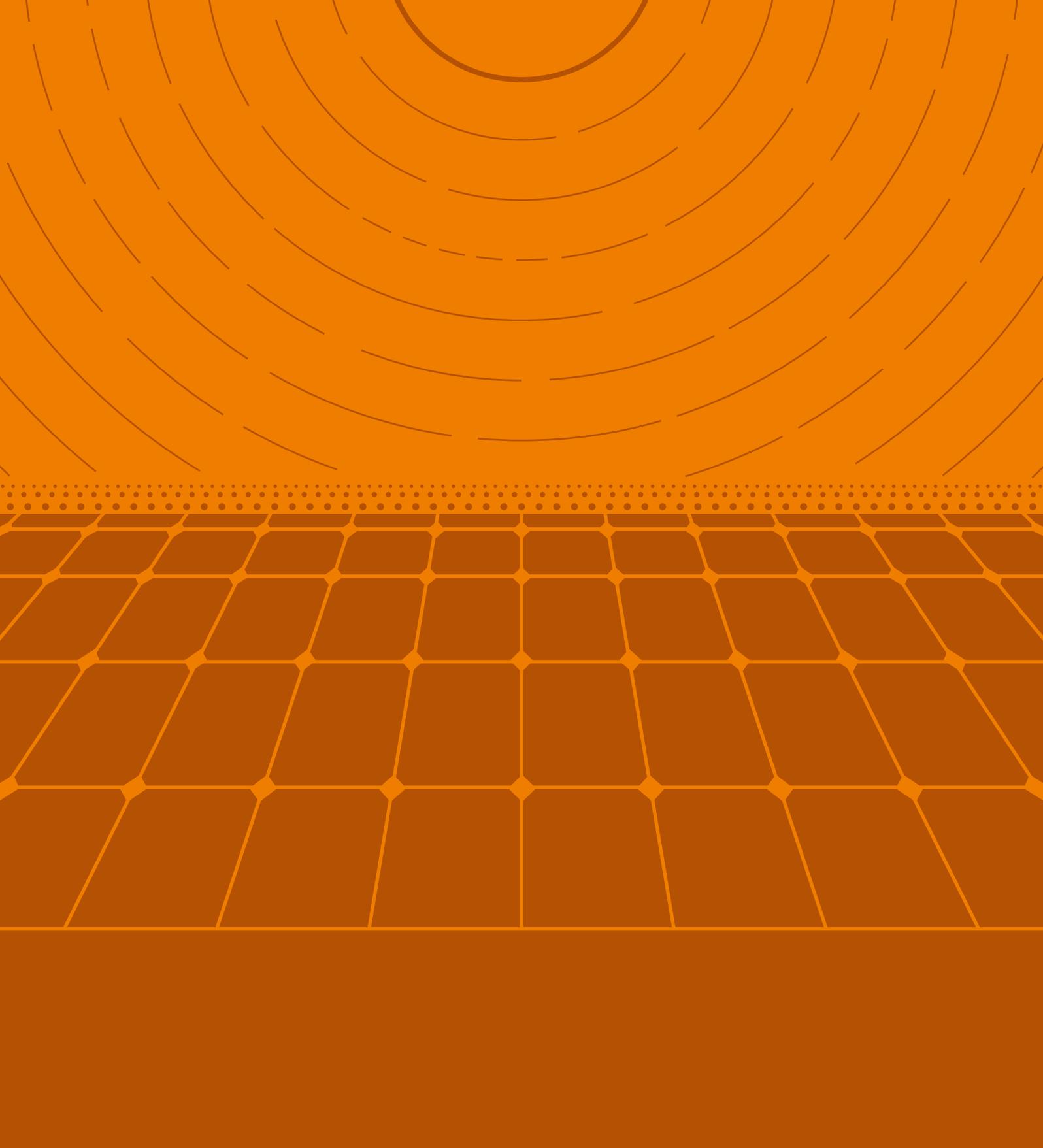


1. Secretaría de Energía (SENER), 2016. Balance Nacional de Energía 2016.
2. Secretaría de Energía (SENER), 2016. Reporte de Avance de Energías Limpias 2016.
3. Global Energy Network Institute (GENI, 2011). Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies. [www.geni.org](http://www.geni.org)
4. International Energy Agency (IEA), 2011. Solar Energy Perspectives. Renewable Energy Technologies. [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar\\_energy\\_perspectives2011.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar_energy_perspectives2011.pdf)
5. Massachusetts Institute of Technology (MIT, Energy Initiative). The Future of Solar Energy. An Interdisciplinary MIT Study. Agosto, 2016. <http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf>
6. De Feo, G., Forni, M., Petito, F., & Renno, C. (2016). Life cycle assessment and economic analysis of a low concentrating photovoltaic system. *Environmental technology*, 37(19), 2473-2482.
7. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2015. Solar Heat for Industrial Processes. Technology Brief. Enero 2015. [www.iea-etsap.org/web/Supply.asp](http://www.iea-etsap.org/web/Supply.asp)
8. Secretaría de Energía (SENER), 2015. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN), 2016-2030.
9. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), 2007. Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (Procalsol). México, agosto 2007. <https://www.gob.mx/conuee>
10. Secretaría de Energía (SENER), 2016. Prospectiva de Talento del Sector Energía. Volumen 4: Análisis de las Cadenas de Valor del Subsector de Sustentabilidad Energética.
11. Secretaría de Energía (SENER), 2016. Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030.
12. Sistema de Información Energética (SENER). Consultado en enero de 2016.
13. Frankfurt School-UNEP-Centre/BNEF, 2016. Global Trends in Renewable Energy Investment 2016, <http://www.fs-unep-centre.org>
14. Sun & Wind Energy (2015). World map of solar thermal industry 2015.
15. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2015. Solar Heat for Industrial Processes. Technology Brief. Enero 2015. [www.iea-etsap.org/web/Supply.asp](http://www.iea-etsap.org/web/Supply.asp)
16. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2015. Quality Infrastructure for Renewable Energy Technologies. Solar Water Heaters. Diciembre 2015. [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_QI\\_3\\_SWH\\_2015.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_QI_3_SWH_2015.pdf)
17. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2016. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
18. REN21. 2016. Energías Renovables 2016. Reporte de la situación mundial.
19. Senado de la República, 2016. Encuentro reforma energética. Visitada 29 septiembre, 2016. [http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/reforma\\_energetica/presentacion.pdf](http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/reforma_energetica/presentacion.pdf)
20. Diario Oficial de la Federación (DOF), 2015. Ley de la Industria Eléctrica. [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/25509/Ley\\_de\\_la\\_Industria\\_Electrica\\_y\\_la\\_Ley\\_de\\_Energia\\_Geotermica.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/25509/Ley_de_la_Industria_Electrica_y_la_Ley_de_Energia_Geotermica.pdf)
21. PCW. Visitada 23 septiembre, 2016. [www.pcw.com](http://www.pcw.com)
22. Comisión Reguladora de Energía (CRE), 2016. Informe Estadístico de Operación Eléctrica de Permisos de Autoabastecimiento, Cogeneración y Pequeña Producción. México 2016. <http://www.cre.gob.mx>.
23. Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO). 2016. Visitada 23 septiembre, 2016. [www.imco.org.mx](http://www.imco.org.mx).
24. Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016. Ley General de Cambio Climático. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgcc.htm>
25. Diario Oficial de la Federación (DOF), 2015. Ley de Transición Energética. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
26. Yves B., J. S. (1993). Global business drivers - aligning information technology to global business strategy. 32 (1), 143-161. *IBM systems journal*.
27. International Energy Agency. (2016). Key World Energy Trends: Excerpt from world energy balances.
28. INNCOM. (2016). ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA . Ciudad de México: INNCOM
29. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2016. Renewables Energy and Jobs. Annual Review 2016. United Arab Emirates, 2016. [www.irena.org](http://www.irena.org)
30. Hamilton, J. (n.d.). Careers in Solar Power. [En línea] Bureau of Labor Statistics. Disponible en: [https://www.bls.gov/green/solar\\_power/](https://www.bls.gov/green/solar_power/) [Accesado Nov. 2016].
31. IMCO. (2016). Compara Carreras. [En línea] Disponible en: <http://imco.org.mx/comparacarreras/#/carrera/512> [Accesado Nov. 2016].

32. Tapia, M. (2016). Productividad global y la oportunidad para México. [En línea] Animal Político. Disponible en: <http://www.animalpolitico.com/blogueros-neoliberal-nel-liberal/2016/10/03/productividad-global-la-oportunidad-mexico/> [Accesado Nov. 2016].
33. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2015. REmap 2030 A Renewable Energy Roadmap
34. Instituto Nacional de Energías Renovables. (2016). Nuestra historia. [En línea] Disponible en: <http://www.ineel.mx/nuestra-historia.html> [Accesado Nov. 2016].
35. Perfil de Mercado del Sílice. (2013). 1st ed. [ebook] México: Coordinación General de Minería. Disponible en: [http://economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_silice\\_1013.pdf](http://economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_silice_1013.pdf) [Accesado Nov. 2016].
36. Lara, J. (2015). Crecerá industria del aluminio 13% en el 2015. [En línea] El Financiero. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/crecera-industria-del-aluminio-13-en-el-2015.html> [Accesado Nov. 2016].
37. Infografía de la Industria del Acero en México 2016. (2016). [ebook] Ciudad de México: CANACERO. Disponible en: [http://www.canacero.org.mx/Es/assets/infografia\\_de\\_la\\_industria\\_del\\_acero\\_en-mexico\\_2016.pdf](http://www.canacero.org.mx/Es/assets/infografia_de_la_industria_del_acero_en-mexico_2016.pdf) [Accesado Nov. 2016].
- TÜV Rheinland. (2016). Solar and Photovoltaic. Recuperado en 2016, de [http://www.tuv.com/en/usa/services\\_usa/product\\_testing/photovoltaic\\_2/photovoltaic.html](http://www.tuv.com/en/usa/services_usa/product_testing/photovoltaic_2/photovoltaic.html)
39. CENCER. (S/F). Estándar de Competencia laboral EC0586. Recuperado en 2016, de <http://www.cencer.org.mx/index.php/estandares-de-competencia/ec-0586>
40. FIDE. (2016). Cerificación en el EC0586. Recuperado en 2016, de [http://fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=618&Itemid=242](http://fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=618&Itemid=242)
41. FIDE. (2016). Especificación Sello FIDE No. 4143 Paneles Fotovoltaicos. Recuperado en 2016, de [http://fide.org.mx/images/stories/sellofide/esp4143\\_01.pdf](http://fide.org.mx/images/stories/sellofide/esp4143_01.pdf)
42. Diario Oficial de la Federación. (2009). Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. Recuperado en 2016, de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5101826&fecha=06/08/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5101826&fecha=06/08/2009)
43. SENER. (2015). Proyecto de Desarrollo de Energía Renovable a Gran Escala (PERGE). Recuperado en 2016, de <https://www.gob.mx/sener/articulos/proyecto-de-desarrollo-de-energia-renovable-a-gran-escala-perge?idiom=es>
44. SEMARNAT. (2015). Guía de Programas del Fomento a la Generación de Energía con Recursos Renovables. (3). México.
45. Estrada, V. (2010). Clúster Mexicano de Energías Renovables. Recuperado en 2016, de [http://www2.ineel.mx/proyecto-fotovoltaico/DESCARGAS/3ER\\_COLOQUIO\\_PONENCIAS/03\\_Oportunidades\\_Industriales\\_1715-1830/01\\_Cluster\\_Mexicano\\_de\\_ER\\_Ing.\\_Vicente\\_Estrada.pdf](http://www2.ineel.mx/proyecto-fotovoltaico/DESCARGAS/3ER_COLOQUIO_PONENCIAS/03_Oportunidades_Industriales_1715-1830/01_Cluster_Mexicano_de_ER_Ing._Vicente_Estrada.pdf)
46. SENER. (S/F). Centros Mexicanos de Innovación en Energía. Recuperado en 2016, de [http://sustentabilidad.energia.gob.mx/res/CEMIE\\_General.pdf](http://sustentabilidad.energia.gob.mx/res/CEMIE_General.pdf)
47. SENER. (S/F). Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar. Recuperado en 12 de 2016, de [http://sustentabilidad.energia.gob.mx/res/CEMIE\\_Sol.pdf](http://sustentabilidad.energia.gob.mx/res/CEMIE_Sol.pdf)
48. Red de Energía Solar. (S/F). Acerca de la Red. Recuperado en 2016, de Red de Energía Solar: <http://redsolar.org/>
49. Asociación Nacional de Energía Solar. Visitada diciembre, 2016. [www.anes.org](http://www.anes.org)
50. Asociación Mexicana de Energía Solar Fotovoltaica. Visitada diciembre 2016. [www.asolmex.org](http://www.asolmex.org).
51. Energía, Tecnología y Educación, SC et al. (2009). Recursos de capacitación en energía renovable: estudio y evaluación. . Recuperado en 2016.
52. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) Visitada diciembre 2016. [www.fide.org.mx/](http://www.fide.org.mx/)
53. Valle, J. d. (2008). El cabildeo al Poder Legislativo en México: origen y evolución. XIV (42) . Espiral. Estudios sobre Estado y Sociedad.
54. R. Galvin, Science roadmaps, Science 280 (1998) 803.
55. T.A. Kappel, Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future, J. Prod. Innov. Manag. 18 (2001) 39–50.
56. R Phaal, C.J.P. Farrukh, D.R. Probert. Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives. Centre for Technology Management, University of Cambridge. (2001)
57. R. Phaal, C.J.P. Farrukh, D.R. Probert, Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution, Technol. Forecast. Soc. Change 71 (2004) 5–26.
58. R. Phaal, C. Farrukh, R. Mitchell, D. Probert, Starting-up roadmapping fast, Res. Technol. Manag. 46 (2003) 52–58.
59. [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy\\_2014edition.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf)
60. [https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/basic\\_page/Solar%20CSP\\_roadmap\\_flipped.jpg](https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/basic_page/Solar%20CSP_roadmap_flipped.jpg)
61. R. Fred, Conceptos de Administración Estratégica. Edit. Prentice Hall, México (2000)







ISBN-13: 978-607-97294-8-6



9 786079 729486