

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES EN MÉXICO

Estudio base de mercado

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES EN MÉXICO

Estudio base de mercado

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)
Av. Revolución 1877
Loreto, Del. Álvaro Obregón
C.P. 01090, Ciudad de México, México
www.gob.mx/conuee

Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)
Insurgentes Sur 1748 – 303
Col. Florida, Del. Álvaro Obregón
C.P. 01030, Ciudad de México, México
www.anes.org

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Oficina de Representación de la GIZ en México
Av. Insurgentes Sur No. 826 – PH
Col. Del Valle, Del. Benito Juárez
C.P. 03100, Ciudad de México, México
www.giz.de/mexico

Edición y Supervisión: Jorge Andrés Soriano Muñoz (Conuee), Rosa María Valdés Romero (Conuee),
Angélica Quiñones Juárez (ANES), Trudy Koenemund (GIZ), Joscha Rosenbusch (GIZ)

Autor: Hermilio Ortega (GIZ)

Equipo de trabajo: Fabian Kratz (GIZ)
Luis Romero (Consultor)
Sandra Chávez (Consultora)
Alejandro González (Consultor)
Arno van den Bos (GIZ)
Ángel Azamar (GIZ)

Diseño: Bárbara Guerrero

Ciudad de México, mayo de 2018

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES EN MÉXICO

Estudio base de mercado

ACLARACIÓN

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento.

La colaboración de la GIZ se realizó en el marco del Programa “Energía Solar a Gran Escala en México” (DKTI Solar), el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), en conjunto con la Secretaría de Energía (SENER) y en el marco de la implementación de la Iniciativa de Calor Solar en colaboración con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) y la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES).

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y los colaboradores y no necesariamente representan la opinión de la SENER, Conuee, ANES, BMZ y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Alberto Valdés Palacios, a la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la Asociación Alemana de Energía Solar (BSW-Solar), el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energía Solar (ISE), la Red de Energía Solar de CONACyT, la Cámara Mexicano - Alemana de Comercio e Industria (CAMEXA) y a las empresas Inventive Power, Módulo Solar, Solrico y Energías Saubere por su valiosa ayuda al haber proporcionado información relevante para la realización del presente documento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	12
1 INTRODUCCIÓN.....	20
2 EL SECTOR INDUSTRIAL Y LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA A NIVEL INTERNACIONAL.....	26
2.1 Despliegue de la energía solar térmica a nivel global.....	28
2.2 Demanda calor en el sector industrial	31
2.3 Energía solar térmica para aplicaciones industriales	34
2.3.1 Aspectos tecnológicos clave en los sistemas solares térmicos industriales.....	36
2.3.2 Integración de sistemas solares térmicos al sector industrial.....	41
2.3.3 Ramas industriales con potencial de aplicación.....	43
3 EL SECTOR INDUSTRIAL MEXICANO Y LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	44
3.1 La energía solar térmica en México	49
3.1.1 Manufactura de colectores solares en México	52
3.1.2 Investigación y desarrollo tecnológico en materia de energía solar térmica para procesos industriales	53
3.1.3 Estado de la Infraestructura de la Calidad en calentadores solares de agua	55
3.2 Proyectos de calor solar para procesos industriales en operación comercial en México ..	59
3.3 Proyectos demostrativos de calor solar para procesos industriales y otros sectores ..	67
3.4 Potencial de aprovechamiento de calor solar para procesos industriales.....	70
3.5 Barreras identificadas para el despliegue del calentamiento solar para procesos industriales.....	71
3.6 Marco legal e instrumentos de política pública.....	72
4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	76
4.1 Costos a nivel internacional.....	78
4.2 Costos nacionales de las tecnologías solares para procesos industriales	81
4.3 Precios promedio de los combustibles en el sector industrial mexicano	83
4.3.1 Precios promedio del gas natural para el sector industrial en las diferentes zonas de distribución.....	85
4.4 Costos nivelados de energía térmica en el sector industrial.....	88
4.4.1 Costos nivelados de energía térmica convencional y solar en el sector industrial – caso estado de Jalisco	91
4.5 Seguridad energética	94

5	MODELOS DE NEGOCIO Y OPCIONES DE FINANCIAMIENTO	98
5.1	Modelos de negocio	100
5.1.1	Empresas de servicios energéticos – ESCO	101
5.1.1.1	Contrato por Suministro de Energía (ESC – Energy Supply Contracting) ..	102
5.1.1.2	Contrato por Desempeño (ESP – Energy Performance Contracting)	102
5.1.2	Contrato por arrendamiento (Leasing)	103
5.2	Opciones de financiamiento en México	104
5.2.1	Opciones de financiamiento con el apoyo de recursos públicos	104
5.2.2	Opciones de financiamiento de empresas privadas y la banca comercial	105
5.3	Incentivos fiscales	108
5.3.1	Incentivos fiscales a nivel federal	108
5.3.2	Incentivos fiscales a nivel local	108
5.4	Ley de calor con energías renovables en Alemania y estrategia de financiamiento ...	109
5.4.1	BAFA – Programa de Incentivos de Mercado (MAP) para calentamiento a partir de fuentes de energías renovables	110
5.4.2	KfW – Programa Energías Renovables “Premium”	110
5.4.3	KfW en México	111
5.5	Cooperación técnica y científica internacional	112
6	CONCLUSIONES	114
7	BIBLIOGRAFÍA	118
8	ANEXO I	124
9	ANEXO II	126
10	ANEXO III	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución mundial de los proyectos solares térmicos industriales.....	36
Figura 2.	Tecnologías disponibles para calor de procesos.....	37
Figura 3.	Eficiencia térmica de los colectores solares.....	39
Figura 4.	Sistema de almacenamiento.....	40
Figura 5.	Usos indirectos, precalentamiento.....	41
Figura 6.	Sistema solar que suministra calor directamente a un proceso industrial.....	42
Figura 7.	Sistema solar que suministra calor directamente a un proceso industrial.....	42
Figura 8.	Irradiación solar directa media en el mes de junio.....	50
Figura 9.	Proyectos solares térmicos para calor de proceso en México.....	61
Figura 10.	Estrategias y programas de la transición energética y cambio climático.....	73
Figura 11.	Indicadores de la Transición Energética.....	74
Figura 12.	Mapa de la Revisión Anual del Plan Quinquenal de Expansión del Sistrangas 2015-2019.....	95
Figura 13.	Modelos de ESCO con diferentes regímenes de propiedad.....	101
Figura 14.	Desarrollo de los costos de energía con transmisión de la propiedad al fin del contrato.....	102
Figura 15.	Desarrollo de los costos de energía durante un contrato de desempeño.....	103
Figura 16.	Diferentes modelos de arrendamiento.....	104
Figura 17.	Esquema de arrendamiento para sistemas solares térmicos en industria/comercio.....	107
Figura 19.	Líneas de trabajo, Proyecto Solar Payback.....	113

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Banco de colectores solares planos.....	68
Fotografía 2.	Banco de colectores solares para el calentamiento directo de aire.....	68
Fotografía 3.	Sistema solar térmico con colectores de concentración solar cilíndrico-parabólicos.....	69

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Potencial de implementación de colectores solares en México al 2030	17
Gráfica 2.	Consumo final de energía por combustible en México durante el año 2016	23
Gráfica 3.	Distribución de la capacidad total instalada por tipo de colectores solares de agua al cierre del año 2015	29
Gráfica 4.	Distribución de la capacidad instalada de colectores solares térmicos de agua por aplicación y por región económica en operación al cierre del año 2015	30
Gráfica 5.	Consumo final de energía en el sector industrial a nivel mundial en 2014	33
Gráfica 6.	Distribución de la demanda de energía final en la industria a nivel global	33
Gráfica 7.	Distribución y evolución del consumo de energía por sectores en México en el año 2016	46
Gráfica 8.	Formas de energías utilizadas en el sector industrial mexicano en el año 2016 ...	47
Gráfica 9.	Consumo de energía por industria y tipo de combustible en los procesos, año 2016	47
Gráfica 10.	Consumo de energía del sector industrial en el escenario base	48
Gráfica 11.	Distribución sectorial de la capacidad instalada de CSA en México (m ² , 2011)	50
Gráfica 12.	Crecimiento y montos totales de la superficie instalada de colectores solares de agua en México (2005 – 2016)	52
Gráfica 13.	Superficie total instalada de calentadores solares de agua en México, por tipo de tecnología (2009 – 2014)	53
Gráfica 14.	Área de colectores instalados (área bruta de captación) anualmente en el sector industrial por tipo de tecnología	60
Gráfica 15.	Distribución de números de proyecto por tipo de aplicación	61
Gráfica 16.	Distribución de número de proyectos por rango de producción de agua caliente diaria	66
Gráfica 17.	Potencial de implementación de colectores solares en México al 2030	70
Gráfica 18.	Costos específicos de inversión de sistemas solares térmicos (proyectos llave en mano) en aplicaciones industriales reportados en México	82
Gráfica 19.	Comportamiento de los precios de los combustibles en el sector industrial en México (2014 – 2017)	84
Gráfica 20.	Precio promedio mensual de gas natural en las 20 zonas de distribución en México y precio de referencia Henry Hub	86
Gráfica 21.	Precio del gas natural Henry Hub (dólares por millón de BTU)	87
Gráfica 22.	Costos nivelados de energía (LCOE) estimados para diferentes zonas de distribución de gas natural en México y otros petrolíferos vs. calor solar en procesos industriales	91
Gráfica 23.	Estimación de costos nivelados de generación de calor para el sector industrial en el área metropolitana de Guadalajara (MXN/GJ)	93
Gráfica 24.	Balance de gas natural en el sector industrial por región, 2015-2030 (millones de pies cúbicos diarios)	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Capacidad instalada de colectores solares por tipo de tecnología a nivel mundial al cierre de 2015.....	28
Tabla 2.	Tipo de industrias de acuerdo con su consumo energético	31
Tabla 3.	Rangos de temperatura en calor de proceso y sistemas solares adecuados para suministrarlo	38
Tabla 4.	Comparación entre las tecnologías de colectores solares planos en México	40
Tabla 5.	Características de colectores solares seleccionados para aplicaciones de media temperatura.....	41
Tabla 6.	Rangos de temperatura de distintas ramas industriales.....	43
Tabla 7.	Capacidad instalada de sistemas solares térmicos en México.....	51
Tabla 8.	Estándares de Competencia desarrollados	58
Tabla 9.	Sistemas solares térmicos en aplicaciones industriales instalados en México reportados con base en datos IEA (SHIP plants)	62
Tabla 10.	Combustibles desplazados y reducción de emisiones por sistemas solares térmicos apoyados por FIRCO	67
Tabla 11.	Acciones para promover la energía solar térmica en la industria establecidos en el PETE y PRONASE	75
Tabla 12.	Costos de la tecnología solar para aplicaciones en la industrial a nivel internacional	79
Tabla 13.	Costo de colectores solares de concentración	80
Tabla 14.	Rango de costos de inversión para proyectos llave en mano en la industria.....	80
Tabla 15.	Precio ponderados nacionales de combustibles, promedio anual	84
Tabla 16.	Estimación de costos nivelados de energía térmica en la industria, promedio 2017.....	89
Tabla 17.	Precios de gas natural a usuarios del sector industrial por región y zona de distribución y estimaciones del LCOE (abril de 2017)	90
Tabla 18.	Consumo de combustibles en el sector industrial, 2015-2030 (miles de barriles diarios de petróleo crudo equivalente)	94
Tabla 19.	Programas públicos de financiamiento y apoyo a sistemas solares térmicos en México	105

LISTA DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
ANES	Asociación Nacional de Energía Solar
BMBF	Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania (por sus siglas en alemán)
BMUB	Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (por sus siglas en alemán), Antes BMU
BTU	British thermal unit (por sus siglas en inglés)
CEMIEs	Centros Mexicanos de Innovación en Energía
CENIDET	Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CGCEREE	Comité de Gestión por Competencias de Energía Renovable y Eficiencia Energética
CIO	Centro de Investigaciones en Óptica
CN	Carbono Negro
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2eq}	Equivalente de Dióxido de Carbono
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
CP	Colector Plano
CPC	Concentrador Parabólico Compuesto
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CSA	Calentadores Solares de Agua
CTE	Colector de Tubos Evacuados
DOE	Department of Energy de United States
DOF	Diario Oficial de la Federación
EC	Estándar de Competencia
EE	Eficiencia Energética
EIA	United States Energy Information Administration
EJ	Exajoules
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
EPC	Energy Performance Contracting (por sus siglas en inglés)
ER	Energías Renovables
ESCO	Empresas de Servicios Energéticos (por sus siglas en inglés)
ESC	Contrato por Suministro de Energía (por sus siglas en inglés)
ESP	Contrato por Desempeño (por sus siglas en inglés)
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
FORDECyT	Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg	Gigagramos
GIS	Grupo Industrial de Saltillo
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH
GJ	GigaJoule
Gt_{CO2}	Giga tonelada de Dióxido de Carbono (CO2)
GW_t	Gigawatt térmico
IC	Infraestructura de la Calidad
IEA	Agencia Internacional de Energía (por sus siglas en inglés)
IEPS	Impuesto Especial sobre Producción y Servicios
IER	Instituto de Energías Renovables
IIDEREE	Instituto de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables y Eficiencia Energética
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INFONAVIT	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
IRENA	Agencia Internacional de Energía Renovable
ITESM	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
IVA	Impuesto al Valor Agregado
kW_e	Kilowatt eléctrico
kWh/m²	Kilowatt-hora por metro cuadrado
LACyQS	Laboratorio Nacional de Concentración Solar y Química Solar
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
LISR	Ley de Impuesto Sobre la Renta
LCOE	Costo nivelado de energía, Levelized Cost of Energy (por sus siglas en inglés)
LTE	Ley de Transición Energética
MEXOLAB	Laboratorio Mexicano de Pruebas Solares
MiPyMEs	Micro, Pequeñas y Medianas Empresas
mmpcd	Millones de pies cúbicos por día
m	metro
Mt	Megatonelada, miles de toneladas
Mt_{CO2eq}	Mega tonelada de Dióxido de Carbono (CO2) equivalentes
MW_t	Megawatt Térmico
NAFIN	Nacional Financiera
NMX	Norma Mexicana
NOM	Normas Oficiales Mexicanas

OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económico
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PETE	Programa Especial de la Transición Energética
PIB	Producto Interno Bruto
PJ	Peta joule
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROCALSOL	Programa para Promover los Calentadores Solares
PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PyMEs	Pequeñas y Medianas Empresas
SE	Secretaría de Economía
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SEP	Secretaría de Educación Pública
SHIP	Solar Heat for Industrial Processes (por sus siglas en inglés)
SIE	Sistema de Información Energética
tmca	Tasa media de crecimiento anual
TWh_t	Terawatt-hora térmico
UABC	Universidad Autónoma de Baja California
UACM	Universidad Autónoma de la Ciudad de México
UAEM	Universidad Autónoma del Estado de México
UL	Coefficiente global de transferencia de calor
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
W/m²	Watt por metro cuadrado





RESUMEN EJECUTIVO



En el contexto del desarrollo de la energía solar térmica en México, la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ, por sus siglas en alemán) a través del Programa Energía Solar a Gran Escala en México (DKTI Solar), en colaboración con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) y la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), llevaron a cabo el presente estudio base del mercado del calor solar para procesos industriales en México, con el fin de documentar el estado actual y perspectivas de crecimiento de la energía solar térmica en la industria mexicana.

El desarrollo del estudio se basó en la consulta bibliográfica de diferentes textos especializados en la materia, entre ellos estudios sectoriales del sector industrial a nivel internacional, así como del caso de México. También se consultaron las principales fuentes de información en relación con las características y despliegue de la tecnología solar térmica.

Una parte importante dentro de la elaboración del estudio fue la documentación de proyectos instalados en México, las barreras y oportunidades en el contexto nacional, así como una primera aproximación de la estimación de los costos nivelados de calor a partir de los precios de los combustibles fósiles empleados típicamente por el sector industrial y costos de suministro de calor solar basados en tecnologías termosolares disponibles en el país.

El estudio tiene cuatro objetivos principales:

1. Documentar el desarrollo de la energía solar térmica aplicada a procesos industriales en México. Para ello se analizó la oferta tecnológica disponible a nivel internacional y nacional, identificando las principales barreras para la promoción del calor solar en México. Así como, las actividades que se llevan a cabo en materia de investigación y desarrollo tecnológico por el sector académico mexicano.
2. Analizar los costos actuales y tendencias de los principales combustibles que demanda la industria para generar calor, y estimar los costos de calor solar para procesos industriales con base en costos actuales de la tecnología disponible a nivel comercial en el país. Se empleó la metodología de costos nivelados de energía (LCOE por sus siglas en inglés) que toma en cuenta la valoración económica del costo del sistema de generación de calor que incluye todos los costos a lo largo de la vida útil del proyecto: la inversión inicial, operación y mantenimiento, el costo de combustible, costo de capital, etc.
3. Describir los potenciales modelos de negocio que pueden ser aplicados para promover el calor solar en procesos industriales, así como los mecanismos financieros disponibles para esta tecnología.
4. Generar un conjunto de recomendaciones para los diseñadores de políticas públicas y actores clave, basadas en los hallazgos del estudio, que permitan orientar la toma de decisiones en torno al futuro del consumo de calor de manera eficiente y renovable en el país.

CONTEXTO GLOBAL

En el contexto mundial, casi un tercio del consumo energético final es destinado a satisfacer la demanda del sector industrial¹, siendo éste el mayor consumidor de energía entre todos los sectores económicos; representa el 20% del total de las emisiones globales de gases de efecto invernadero², solo por debajo del sector eléctrico y transporte.

¹ World Energy Outlook 2016, OECD/IEA, 2016.

² CO₂ Emissions from fuel combustion: Overview (2017 edition), IEA, 2017.

En particular, el sector industrial demanda grandes cantidades de energía, dos terceras partes son en forma de calor. Asociado a la demanda de calor, este sector enfrenta importantes retos económicos, como el incremento del precio de los combustibles fósiles y su volatilidad en los mercados internacionales que impacta en la estabilidad del costo del suministro de energía.

El amplio espectro de ramas y subramas del sector industrial puede ser categorizado de acuerdo con la intensidad en su consumo de energía, de tal manera existen empresas energéticamente intensivas³ y las de consumo moderado o no intensivas. El uso de la energía en el sector industrial es ampliamente variado, sin embargo, se puede categorizar en dos grandes clasificaciones, uso eléctrico y térmico. El 74% de la energía es utilizada para generar calor de proceso, a través del uso de combustibles fósiles principalmente.

De la demanda de calor en la industria⁴, casi la mitad (48%) es requerida para calor de alta temperatura (más de 400°C) principalmente en las industrias intensivas, el 22% se utiliza para calor de media temperatura (150 a 400 °C) y el restante 30% se destina a calor de baja temperatura (menos de 150 °C).

El aprovechamiento del calor solar para procesos industriales (SHIP por sus siglas en inglés) emerge como una fuente cada vez más utilizada. El desarrollo tecnológico de la energía solar ha permitido, por un lado, reducir los costos de los sistemas solares hasta volverlos competitivos frente a las tecnologías convencionales basados en el uso de combustibles fósiles y, por otro lado, se ha elevado eficiencia de los dispositivos para aumentar el número de aplicaciones en que puede ser utilizada.

Cada vez más el sector industrial decide invertir en sistemas solares para producir calor de proceso alrededor del mundo. De acuerdo con un estudio publicado por la empresa de comunicación Solrico (solrico, 2017), a principios de 2017, los diseñadores de sistemas y los fabricantes de colectores solares reportaron más de 500 sistemas solares térmicos para producción de calor en procesos industriales. La superficie total instalada de colectores solares asciende a 416,414 m² (280 MW_t) para el calentamiento solar de procesos en todo el mundo.

A pesar de los grandes avances en la tecnología solar térmica, su despliegue ha seguido una trayectoria desigual entre sectores, usuarios finales, así como entre sus usos. A nivel mundial el sector residencial ha sido el que ha observado la mayor adopción de la tecnología. Sin embargo, recientemente se ha observado una mayor penetración de aplicaciones de mayor escala en hoteles, viviendas verticales y calor de proceso, motivada principalmente por las ventajas económicas en comparación con fuentes tradicionales de energía, así como por las políticas que promueven el calor solar a partir de energías renovables.



Fuente: Pexels

³ En Estados Unidos de América, de acuerdo con la "Ley de Independencia y Seguridad Energéticas de 2007" (Congress, 2007), el término "industria intensiva en energía" significa una industria que usa cantidades significativas de energía como parte de sus principales actividades económicas.

⁴ IRENA, cálculos realizados por Deger Saygin basados en la fuente IEA, World Energy Statistics 2016, tablas online www.iea.org/statistics/

SITUACIÓN EN MÉXICO

El aprovechamiento de la energía solar térmica en México se remonta a varias décadas atrás. La superficie instalada de colectores solares de agua ha crecido de manera moderada pero sostenida durante los últimos años. Hasta el cierre del año 2016, la superficie total instalada de colectores solares de agua alcanzó 3.5 millones de metros cuadrados en el país, principalmente en el sector residencial. Además, el país cuenta con un recurso solar abundante, presentando condiciones ideales para el aprovechamiento de la energía solar, ya que la irradiación global media diaria en el territorio nacional es de alrededor de 5.5 kWh/m², una de las mejores en el mundo (SENER, 2012).

El sector industrial mexicano es el segundo mayor consumidor final de energía en el país, únicamente por debajo del sector transporte. La demanda de energía es satisfecha en su mayoría a través del uso de combustibles fósiles (gas natural, derivados del petróleo, carbón) y por medio de electricidad.

Derivado de la Reforma Energética, la Ley de Transición Energética (LTE) publicada en diciembre de 2015, faculta a la Conuee elaborar y proponer a la SENER para su aprobación y publicación, la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (Estrategia de Transición). La Estrategia de Transición se constituye como el instrumento de planeación mediante el cual se establecen políticas y medidas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables y para la sustitución de combustibles fósiles en el consumo final.

La Estrategia de Transición reconoce la relevancia del consumo de energía en el sector industrial, así como la importancia de implementar acciones concretas para aumentar la eficiencia y la incorporación de fuentes renovables de energía en uno de los sectores más relevantes de la economía nacional. En particular se han establecido las siguientes acciones directamente vinculadas con el sector industrial:

- + Fomentar la creación de programas de aprovechamiento de la tecnología solar con aplicaciones térmicas en procesos industriales
- + Coordinar la integración de una red para el aprovechamiento de energía solar térmica en procesos industriales que vincule a los principales actores

DE ACUERDO CON IRENA Y SENER (IRENA, 2015B), MÉXICO CUENTA CON UN POTENCIAL TÉCNICO Y ECONÓMICAMENTE FACTIBLE DE 9 GW_t DE COLECTORES SOLARES QUE PODRÍAN INSTALARSE EN LA INDUSTRIA MEXICANA ENTRE EL PERIODO 2010-2030.

RESULTADOS CLAVE

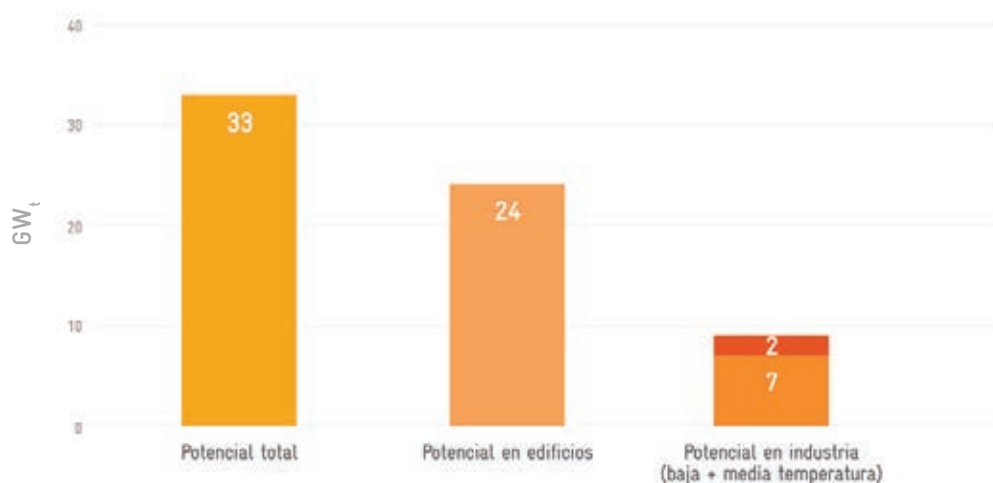
APLICACIONES Y POTENCIAL

En México se cuenta con experiencia documentada en la instalación de proyectos de calentamiento solar para procesos en algunas aplicaciones industriales, al menos desde el año 2001 hasta la fecha. Se han instalado al menos 64 proyectos solares térmicos en diferentes subsectores industriales, como la minería, la elaboración de productos alimenticios y bebidas, fabricación de productos farmacéuticos, y agronegocios, por mencionar los más representativos. La superficie total instalada de estos proyectos asciende a 23,049 metros cuadrados de superficie de colectores solares (equivalente a 13,512 kW térmicos de capacidad).

Adicionalmente, existe registro de 131 proyectos más, instalados en el sector de agronegocios los cuales han sido apoyados por FIRCO, sin embargo, no se cuenta con información de la superficie instalada de colectores solares.

De acuerdo con IRENA y SENER (IRENA, 2015b), México cuenta con un potencial técnico y económicamente factible de 9 GW_t de colectores solares que podrían instalarse en la industria mexicana entre el periodo 2010–2030. Gran parte del potencial, 7 GW_t, se localizan en el segmento de baja temperatura, en procesos típicos de la industria textil, alimentos y algunos procesos químicos. El resto del potencial industrial; es decir 2 GW_t, se encuentra en procesos de media temperatura, donde se requieren sistemas de concentración, principalmente en la fabricación de productos químicos (Gráfica 1).

Gráfica 1. Potencial de implementación de colectores solares en México al 2030



Fuente: Elaboración propia con datos de (IRENA, 2015b)

Otro factor relevante a considerar en el despliegue del calor solar en procesos industriales, es la capacidad instalada de manufactura de colectores solares en México. Se estima que las plantas de manufactura de colectores planos en el país cuentan con una flexibilidad para duplicar su volumen actual de producción anual con cierta rapidez, pasando de un volumen actual de fabricación de 142 mil m²/año a una producción de 300 mil m²/año. El potencial y la capacidad de suministro de colectores solares representa la oportunidad para que nuevas empresas incursionen cada vez más en la construcción y puesta en marcha de proyectos de calor solar de baja temperatura para suministro de energía en el sector industrial; permitiendo así, acelerar el uso de calor solar en el segmento de mercado de mayor potencial en el país.

BARRERAS

No obstante el potencial con el que cuenta el país, existen barreras que dificultan el crecimiento de este tipo de proyectos en México:

- + Altos costos de los sistemas y de la planificación
- + Ausencia de directrices y herramientas para planificadores e ingenieros
- + Escasez de modelos de negocio
- + Falta de conocimiento entre los clientes potenciales

Adicionalmente, se ha identificado la ausencia de estrategias integrales de desarrollo de manera coordinada por parte del sector público, privado y académico hasta ahora, que promuevan el aprovechamiento de la energía solar térmica en los sectores económicos con mayor aplicación en el país, como el sector industrial.

BENEFICIOS Y OPORTUNIDADES

Desde el punto de vista económico, los costos nivelados de energía⁵ estimados para el sector industrial en México se ubican en el rango de 200 a 973 MXN por GJ de calor generado, resultando el gas natural el combustible más competitivo, mientras que el diésel se ubica en el otro extremo como la opción más cara disponible en el mercado. Los combustibles fósiles que emplea la industria (gas natural y petrolíferos) están sujetos a alzas en el precio y a la volatilidad en el corto, mediano y largo plazo.

Con base en la disponibilidad de recursos solares en México, se estima que los costos nivelados de energía para proyectos solares térmicos actualmente se ubican en el rango de 130 a 285 MXN por GJ, entre las zonas que cuentan con altos niveles de irradiación y las zonas menos favorecidas por el recurso solar. Dichos costos resultan similares a los costos de generación de calor a partir de gas natural, siendo este el energético más competitivo en las zonas del país que tienen acceso a él. Una de las ventajas del calor solar es la estabilidad en los precios de suministro de energía durante la vida útil de los proyectos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A medida que las tecnologías de energía renovable se vuelven cada vez más competitivas en costos y son cada vez más utilizadas, las autoridades políticas en diferentes partes del mundo han comenzado a enfocar su atención en la adaptación de las políticas existentes para reflejar la economía rápidamente cambiante de estas tecnologías y los impactos positivos que pueden tener en los sistemas energéticos.

Las aplicaciones térmicas de la energía solar surgen como alternativa al consumo de combustibles fósiles en diferentes países alrededor del mundo, ofreciendo ahorros económicos y precios estables de suministro de calor, beneficios ambientales por la disminución de emisiones de CO₂, la mejora de la salud y creación de empleos verdes al nivel local.

A pesar del potencial disponible en México para aumentar la participación de las fuentes renovables en la oferta interna bruta de energía y frente al alza en el precio de los combustibles fósiles empleados para generar calor en los procesos del sector industrial, aún se requiere acordar e implementar acciones con una mayor coordinación desde un enfoque integral para eliminar las barreras en el corto y mediano plazo.

Recientemente se han creado una serie de instrumentos de políticas por parte del Gobierno de México para impulsar el aprovechamiento de este tipo de tecnologías. Destacan entre ellos la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, así como su Programa Especial de la Transición Energética (PETE) y el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE); los cuales establecen líneas de acción específicas para la promoción de la energía solar en el sector industrial.

De aprovecharse el potencial disponible para el calor solar para procesos, la industria podría reducir parte del consumo total de gas natural y petrolíferos, así como reducir parte de sus emisiones de CO₂.

Existe interés en promover el uso de la tecnología solar térmica desde el ámbito del sector público y privado, a través de estrategias vinculadas entre los diferentes actores en el corto y mediano plazo.

En México se llevan a cabo acciones de promoción con diferentes grados de madurez, las cuales van desde el orden regulatorio, capacidades técnicas, desarrollo tecnológico, financiamiento y modelos de negocio principalmente; sin embargo, estas actividades hasta ahora se han implementado de manera independiente.

Como alternativa viable para eliminar las barreras, se plantea el establecimiento de una "plataforma interinstitucional" donde interactúen actores del sector público y privado (usuarios finales del sector industrial), académico, financiero, proveedores de servicios y proveedores de tecnología, que se encuentren relacionados y/o interesados en la generación de calor solar para procesos industriales.

⁵ El costo nivelado de energía, también conocido como costo normalizado o costo equivalente (abreviado como LCOE por sus siglas en inglés), es la valoración económica del costo del sistema de generación de calor que incluye todos los costos a lo largo de la vida útil del proyecto: la inversión inicial, operación y mantenimiento, el costo de combustible, costo de capital, etc.

Esta plataforma podría constituirse como una iniciativa impulsada por el Gobierno Federal, teniendo como objetivo general mejorar las condiciones marco del aprovechamiento de la energía solar con aplicaciones térmicas en procesos industriales en el país. De esta manera, y atendiendo a las barreras aún existentes, se podrá lograr una promoción y difusión efectiva de esta aplicación, lo que conllevará a incrementar la capacidad instalada de sistemas solares térmicas de baja y media temperatura, aumentando la participación de energía renovable en la oferta interna bruta y la disminución de emisiones de CO₂ del sector industrial.





1

INTRODUCCIÓN



Fuente: Inventive Power

El uso de energía en el sector industrial representa el 30%⁶ del consumo energético de usuarios finales a nivel global⁷, del cual dos terceras partes se llevan a cabo en forma de calor. La industria es uno de los sectores que contribuye de manera importante a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) derivado de la quema de combustibles fósiles, con una quinta parte de las emisiones globales⁸.

En México la situación es relativamente similar, ya que el sector industrial representó el 30% del consumo final de energía (dos terceras partes proviene de combustibles fósiles principalmente para la generación de calor y el resto del consumo de electricidad) en el año 2014, y fue responsable, únicamente por la combustión de fuentes fósiles, del 17% de las emisiones a nivel nacional⁹, sólo después del sector transporte y del sector eléctrico. Adicionalmente, el consumo de electricidad en el sector industrial representó aproximadamente 17% de las emisiones totales del país¹⁰.

En los últimos años, el desarrollo tecnológico en materia de aprovechamiento de la energía solar térmica a nivel global se ha incrementado, debido principalmente a las políticas ambientales de protección del clima y al creciente aumento en el precio de los combustibles fósiles. Las aplicaciones solares térmicas para generación de calor en los procesos industriales cada vez toman mayor auge en diferentes economías del mundo.

En el caso del mercado mexicano, esta tecnología hasta ahora ha sido poco aprovechada por el sector industrial, por un lado, por la escasa oferta de tecnología certificada y de modelos de negocio probados en el sector, y por otro lado por la falta de conocimiento del sector industrial sobre la competitividad que han alcanzado algunas tecnologías en el mundo, y por la falta de difusión de casos de referencia en México.

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía, el consumo final energético total¹¹ del país ascendió a 5,305.57 Petajoules, de los cuales la aportación de energías renovables a nivel nacional en todos los sectores¹², representó casi el 6% del consumo final energético (301.11 Petajoules) en el año 2016 (Gráfica 2). Sin embargo, dicha aportación no incluye la participación de todas las fuentes renovables en la generación de electricidad.

Si se toma en cuenta la participación de energías renovables en la generación eléctrica (49,206.2 GWh¹³ de generación eléctrica renovable, equivalente al 15.4% respecto a la generación total de electricidad en el país que asciende a 319,364 GWh) durante el mismo año, la participación de energías renovables representa aproximadamente 8.4% del consumo final de energía en el país (hidroeléctrica, eólica y geotermia principalmente).

⁶ World Energy Outlook 2016, OECD/IEA, 2016.

⁷ Industria, transporte, edificios y otros.

⁸ CO₂ Emissions from fuel combustion: Overview (2017 edition), IEA, 2017.

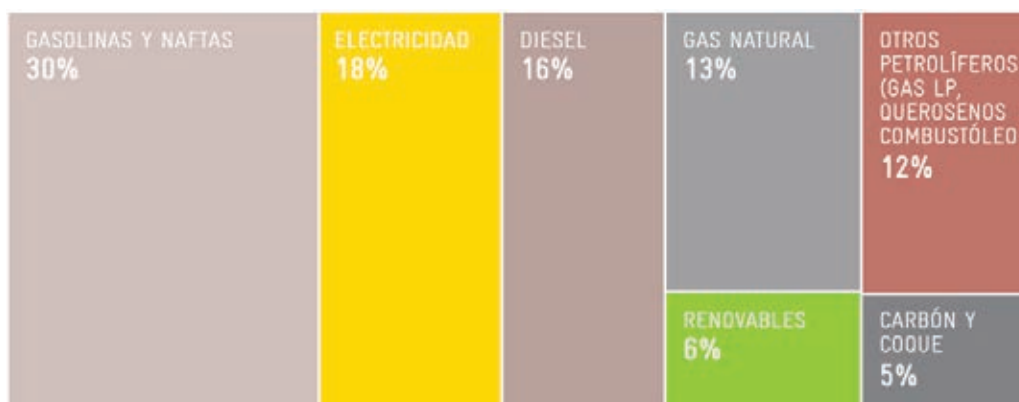
⁹ Con información del Inventario Nacional de Emisiones GEI 2014, INECC. México emitió 436 millones de toneladas de CO_{2e} en el año 2014, de las cuales el sector industrial fue responsable de 73.9 millones tCO_{2e} por uso de combustibles fósiles (no incluye emisiones derivadas del consumo de electricidad en el sector industrial).

¹⁰ El consumo de electricidad en el sector industrial durante el año 2014 ascendió a 147,528.123 GWh, lo que equivale a la emisión anual de 66.68 millones tCO_{2e} anuales (considerando un factor para el cálculo de emisiones indirectas por consumo de electricidad de 452 tCO_{2e}/GWh).

¹¹ No incluye el consumo de energía del sector energético (transformación, consumos propios, pérdidas de distribución, recirculaciones y diferencias estadísticas), ni el consumo no energético.

¹² Sector residencial, comercial, público, transporte, agropecuario e industrial.

¹³ Reporte de Avance de Energías Limpias 2015, SENER, 2016.

Gráfica 2. Consumo final de energía por combustible en México durante el año 2016¹⁴

Fuente: Elaborado a partir de datos de (SENER, 2018)

La penetración de la energía solar ha sido limitada hasta ahora y se ha desarrollado principalmente en el sector residencial, y ha sido impulsado por iniciativas y programas nacionales que han promovido la instalación de tecnologías amigables con el medio ambiente en dicho sector para aprovechar la energía solar térmica y más recientemente el despliegue de la energía solar fotovoltaica.

A pesar de la gran disponibilidad del recurso solar en México, la participación de la energía solar térmica y fotovoltaica en el sector industrial hasta ahora ha sido marginal, aportando únicamente el 0.03% del consumo energético en ese sector (0.617 Petajoules de energía solar durante el año 2016).

En un contexto general, la perspectiva de crecimiento de la energía solar durante los próximos años en el país apunta hacia una mayor participación de la energía fotovoltaica para generación eléctrica. Esto derivado del impulso y competitividad económica de los sistemas fotovoltaicos para generación de electricidad distribuida, en el marco de las reformas en el sector energético realizadas en los años 2008 y 2014; así como, los resultados de las últimas subastas de largo plazo de electricidad en donde se vio un éxito para la energía solar fotovoltaica a gran escala en el mercado eléctrico mayorista.

En contraste, la energía solar térmica en México cuenta con una mayor tradición desde hace varias décadas atrás. La superficie instalada de colectores solares de agua crece de manera moderada pero sostenida durante los últimos años, y actualmente supera a la capacidad instalada de energía fotovoltaica.

En comparación con las metas nacionales establecidas en la Ley de Transición Energética¹⁵ (publicada en diciembre de 2015) para la generación de electricidad a partir de fuentes limpias, no existen metas específicas para la energía solar térmica basadas en perspectivas de crecimiento acelerado de esta tecnología en el país hasta el momento. Sin embargo, la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles Más Limpios (Estrategia de Transición) reconoce la importancia del calor solar como una opción para aumentar la participación de las energías renovables en la oferta interna bruta, reducir las emisiones GEI, y la oportunidad para crear sinergias con la aplicación de medidas de eficiencia energética en sectores como el residencial o industrial.

En particular, destaca el diseño de Estrategia de Transición como el instrumento rector de la política nacional en el mediano (2015-2030) y largo plazo (2030-2050) en materia de Energías Limpias, aprovechamiento sustentable de la energía, mejora en la productividad energética y reducción económicamente viable de las emisiones contaminantes. La Estrategia de Transición establece metas de energías limpias en la generación de electricidad y eficiencia energética, así como su respectiva hoja de ruta para la implementación de dichas metas.

¹⁴ El porcentaje de energías renovables no considera la aportación de fuentes renovables en la generación eléctrica (49,206.2 GWh) proveniente principalmente de hidroeléctrica, eólica y geotermia principalmente. Ver Anexo II.

¹⁵ Ley de Transición Energética publicada el 24 de diciembre de 2015, establece como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25% para el año 2018, del 30% para 2021 y del 35% para 2024.

Las metas nacionales para acelerar la transición hacia el uso de tecnologías y combustibles más limpios establecidas en la Estrategia de Transición, contemplan acciones en todos los sectores de la economía nacional (edificaciones, industria, transporte, servicios públicos y agroindustria), las cuales contemplan tres vertientes:

- + Ahorro y uso eficiente de energía
- + Aprovechamiento de energías limpias
- + Desarrollo de infraestructura integradora

A su vez, la Estrategia de Transición también plantea promover el aprovechamiento del calor solar en el sector industrial a través de actividades concretas en los siguientes ámbitos:

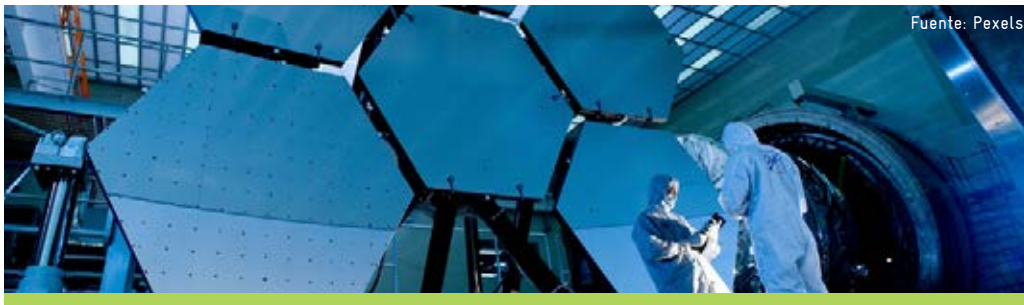
- + Regulaciones y políticas públicas
- + Capacidades técnicas y recursos humanos
- + Instituciones
- + Mercados y financiamiento
- + Investigación, desarrollo e innovación





2

EL SECTOR INDUSTRIAL Y LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA A NIVEL INTERNACIONAL



2.1 DESPLIEGUE DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA A NIVEL GLOBAL

Al cierre del año 2015, la capacidad instalada en operación de colectores solares alrededor del mundo fue de 435 GW_t, principalmente para la generación de agua caliente sanitaria en el sector residencial y servicios, lo que corresponde a un total de 622 millones de metros cuadrados de estos dispositivos.

La mayor parte de la capacidad instalada se encuentra en China con 309.4 GW_t; es decir 71% del total a nivel global; Europa, por otro lado, concentra una capacidad de 33.3 GW_t equivalentes al 11% de la capacidad mundial instalada. La generación de energía en forma de calor a través de estos sistemas durante el mismo año ascendió a 357 TWh_t que son equivalentes a 1,285 PJ (REN 21, 2016). El aprovechamiento de la energía solar térmica crece año con año, sin embargo, aún representa menos del 0.5% del consumo final de energía a nivel global.

La mayor cantidad de colectores solares utilizan la tecnología colectores de tubos evacuados (CTE), con el 71.6% de la capacidad instalada, seguido de la tecnología de colectores planos (CP) que ocupa la segunda posición con el 21.9% y, por último, entre las tecnologías de calentamiento de agua, se encuentran los colectores sin cubierta con el 6.2% de la capacidad instalada. Por su parte, los colectores solares de aire utilizados para calentamiento de espacios y procesos de secado en la industria apenas representan el 0.3% de la capacidad térmica solar [Tabla 1](#).

Tabla 1. Capacidad instalada de colectores solares por tipo de tecnología a nivel mundial al cierre de 2015

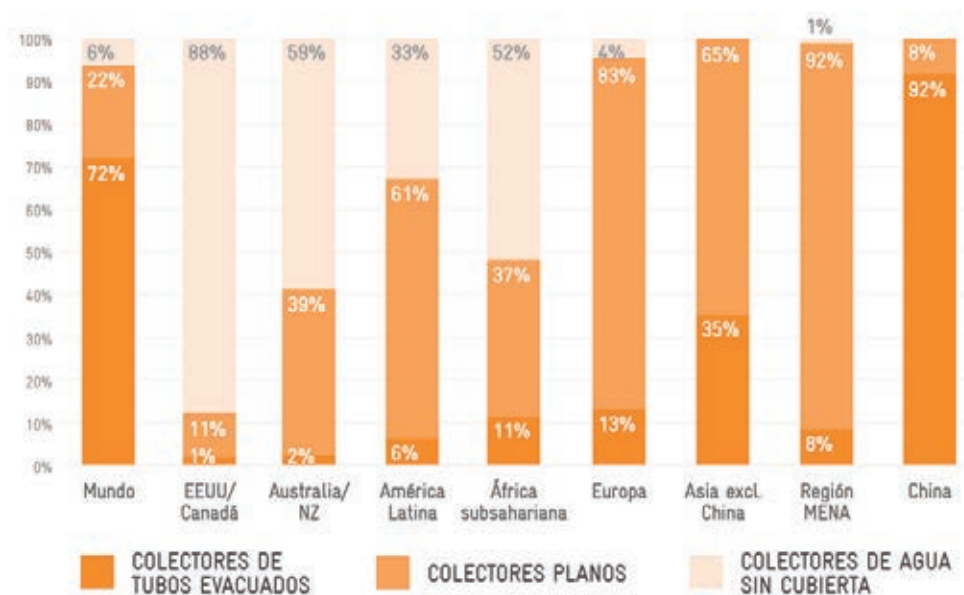
TECNOLOGÍA	CAPACIDAD INSTALADA (GW _t)	SUPERFICIE INSTALADA (MILLONES DE M ²)	% DE SUPERFICIE INSTALADA
COLECTORES SOLARES DE AGUA			
Colectores planos	95.7	136.7	21.9
Colectores de tubos evacuados	312.0	445.8	71.6
Colectores sin cubierta	26.9	38.5	6.2
COLECTORES SOLARES DE AIRE			
Con y sin cubierta	1.1	1.6	0.3
Total	435.9	622.7	100

Fuente: Elaboración propia con datos de (Mauthner, et al., 2017)

La superficie total instalada de colectores solares en el mundo se concentra principalmente en el sector vivienda, y es dominada por los colectores de tubos evacuados, impulsado por el crecimiento acelerado de instalaciones que ha

experimentado China de dicha tecnología. Sin embargo, en otras economías la situación es diferente, por ejemplo, en Europa y América Latina la superficie instalada ha sido principalmente empleando colectores solares planos. Dichas estadísticas no contemplan la superficie instalada de colectores solares de concentración, como los cilíndrico-parabólicos o Fresnel lineal (Gráfica 3).

Gráfica 3. Distribución de la capacidad total instalada por tipo de colectores solares de agua al cierre del año 2015



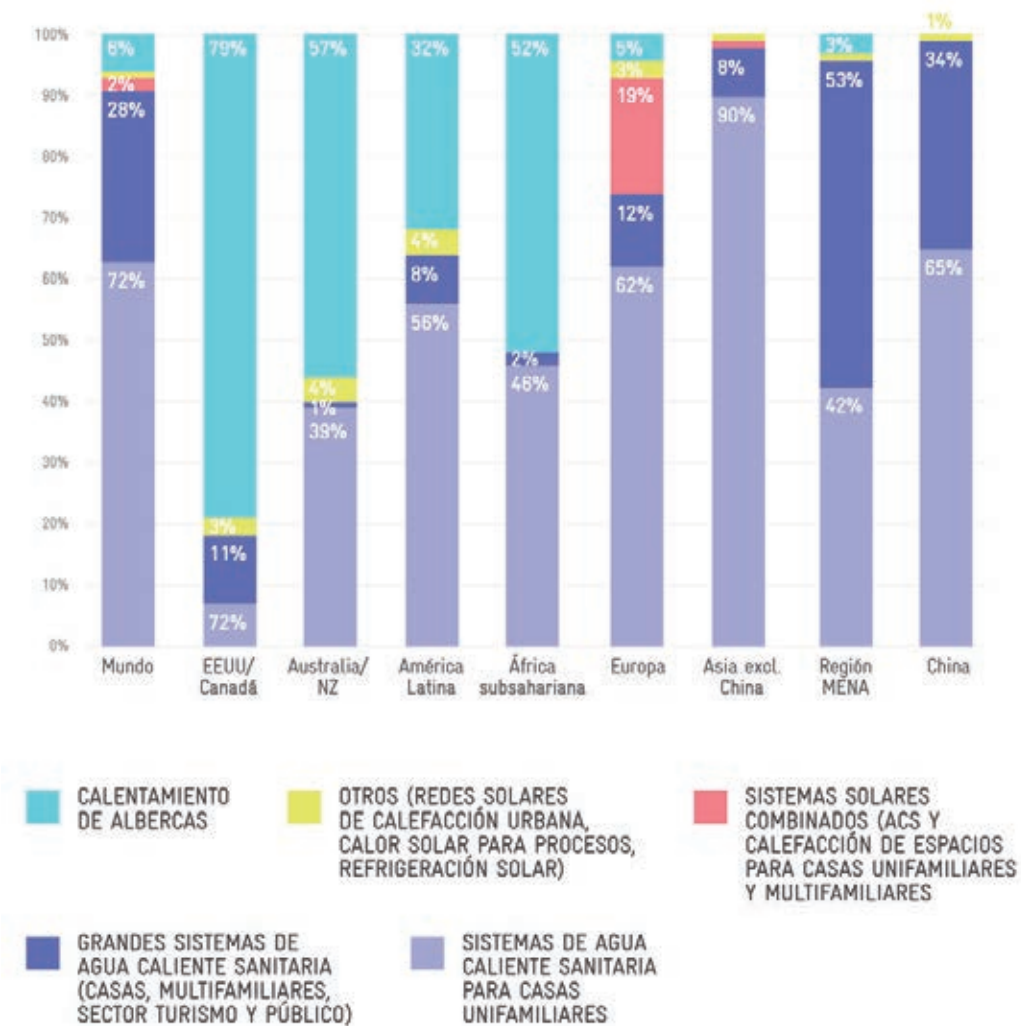
Fuente: (Mauthner, et al., 2017)

La penetración de calentadores solares se ha concentrado hasta ahora principalmente en el sector residencial. Se estima que a finales de 2015 el número de sistemas solares térmicos de agua en operación fue de aproximadamente 108 millones en el sector antes mencionado.

De acuerdo con su uso final, el 63% de la capacidad instalada corresponde a sistemas de pequeña escala instalados en hogares, 28% a sistemas con una escala mayor instalados principalmente en escuelas, hoteles y departamentos, el 6% de estos sistemas fue utilizado para el calentamiento de piscinas y, por último, los sistemas combinados (agua caliente doméstica y calefacción de espacios) representaron el 2% de la capacidad instalada. El 1% restante tuvo aplicaciones como redes de calefacción urbana, procesos industriales y aplicaciones térmicas de enfriamiento solar.

La capacidad instalada y generación de energía proveniente de sistemas solares térmicos en 2015, permitió evitar la quema de 40.3 millones de toneladas de petróleo y se evitó la emisión de 130 millones de toneladas de CO₂. Los empleos generados por la industria solar térmica, en áreas como la producción, instalación y mantenimiento de los sistemas, se estima en 714,000 en todo el mundo (Mauthner, et al., 2017).

Gráfica 4. Distribución de la capacidad instalada de colectores solares térmicos de agua por aplicación y por región económica en operación al cierre del año 2015



Fuente: (Mauthner, et al., 2017)

En contraste con la proporción de la superficie total instalada de calentadores solares de agua en casas unifamiliares a nivel global, la tendencia registrada en 2015 fue la instalación de nuevos sistemas solares térmicos de superficies mayor a 1,000 m² (51% del total de superficie instalada en 2015), principalmente instalados en viviendas multifamiliares, turismo y sector público. Ésta tendencia es motivada principalmente por la competitividad que ha alcanzado la tecnología ante las fuentes de energía convencionales, y por el despliegue de políticas que promueven el uso de tecnología solar térmica en dichos segmentos de mercado (Gráfica 4).



2.2 DEMANDA CALOR EN EL SECTOR INDUSTRIAL

El uso de energía en la industria es ampliamente variado en el contexto internacional, puede ser utilizada para los procesos de fabricación y ensamble, para la generación de vapor y cogeneración, para calentamiento y enfriamiento de equipos, iluminación, así como acondicionamiento de espacios. A pesar de los diversos usos finales, el uso de energía en el sector industrial se puede categorizar en dos grandes tipos, el eléctrico y térmico¹⁶.

Además de la variedad de usos finales de la energía, la estructura del sector es bastante diversa alrededor del mundo; el tipo de industria, fuentes y usos de la energía son algunos de los aspectos más relevantes del sector. Una clasificación sumamente útil para las diferentes industrias es de acuerdo con su consumo energético como lo muestra [Tabla 2](#).

Tabla 2. Tipo de industrias de acuerdo con su consumo energético

GRUPO DE INDUSTRIAS	INDUSTRIAS REPRESENTATIVAS
MANUFACTURERAS – INTENSIVAS EN ENERGÍA	
Alimentos	Fabricación de productos alimenticios, bebidas y tabaco
Pulpa y papel	Fabricación de papel, impresión y actividades de apoyo relacionadas
Química básica	Productos químicos inorgánicos, productos químicos orgánicos (por ejemplo, propileno de etileno), resinas y productos químicos agrícolas; incluye materias primas químicas
Refinación	Refinerías de petróleo y fabricación de productos del carbón, incluido el carbón y el gas natural utilizados como materias primas
Hierro y acero	Fabricación de hierro y acero, incluidos los hornos de coque
Metales no ferrosos	Principalmente aluminio y otros metales no ferrosos, tales como cobre, zinc y estaño
Minerales no metálicos	Principalmente cemento y otros minerales no metálicos, tales como vidrio, cal, yeso y productos de arcilla
MANUFACTURERAS – NO INTENSIVAS EN ENERGÍA	
Otras químicas	Productos farmacéuticos (medicinales y botánicos), pinturas y revestimientos, adhesivos, detergentes y otros productos químicos diversos, incluidas materias primas químicas
Otras industrias	Todas las demás manufacturas industriales, incluidos los duraderos a base de metales (productos metálicos fabricados, maquinaria, equipo y productos electrónicos, equipos de transporte y equipo eléctrico)

¹⁶ Un tercer uso de la energía consiste en utilizarla como materia prima, este es el caso de la industria química principalmente, donde el gas natural es utilizado para la fabricación de diversos productos como plástico, entre otros.

GRUPO DE INDUSTRIAS	INDUSTRIAS REPRESENTATIVAS
NO MANUFACTURERAS	
Agricultura, silvicultura, pesca	Agricultura, silvicultura, pesca
Minería	Extracción de carbón, extracción de petróleo y gas natural, y minería de minerales metálicos y no metálicos
Construcción	Construcción de edificios (residenciales y comerciales), construcción pesada y de ingeniería civil, construcción industrial y contratistas comerciales especializados

Fuente: (DOE & EIA, 2016)

Aproximadamente la mitad del consumo energético del sector se localiza en las industrias denominadas intensivas en energía¹⁷. Las industrias intensivas en energía son las industrias que usan grandes cantidades de energía para transformar procesos o materiales energéticos para uso diario. De manera colectiva, y dependiendo de los países, suministran entre el 20-90% de los procesos y materiales energéticos vitales para nuestra economía y aplicaciones. Típicamente las industrias intensivas en energía se ubican en los siguientes subsectores: aluminio, química básica, pulpa y papel, vidrio, refinación de hidrocarburos, hierro y acero, metales no ferrosos, minerales no metálicos.

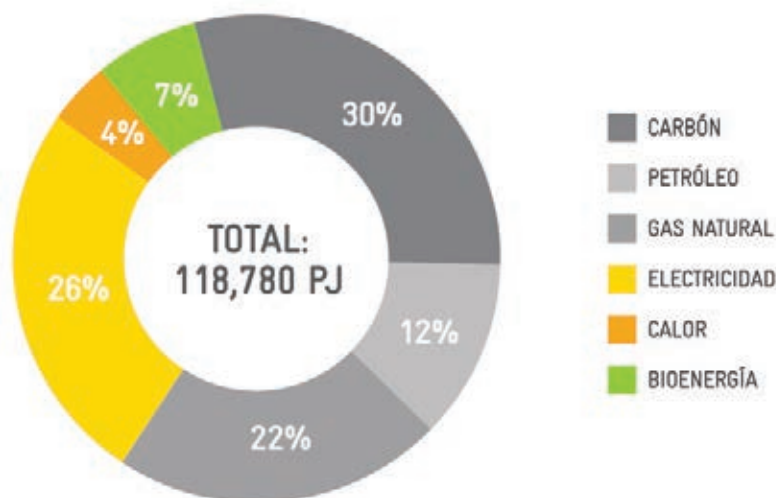
A nivel mundial, la industria del hierro y el acero concentra el mayor consumo con 19%, seguida por la química y petroquímica con 16%, del mismo modo que la producción de cemento también con 16%. Por su parte, la producción de alimentos y tabaco, celulosa y papel, maquinaria y producción de metales no ferrosos (aluminio) observan consumos similares, de entre 6 y 5%. Por último, la minería y extracción, industria textil y del cuero, construcción, equipos de transporte, y la industria de la madera y productos de madera, juntos representan el 10% del consumo de energía del sector a nivel global. Otras ramas industriales no especificadas son responsables de consumir el restante 20% de energía.

A nivel mundial, los países fuera de la OCDE concentran un mayor consumo de energía en el sector industrial en comparación con los países que pertenecen a esta organización. Como resultado de los procesos de relocalización industrial, donde cada vez más las industrias intensivas en energía se ubicarán en países emergentes, se espera que para el año 2040 el 73% del consumo energético del sector se encuentre en estos países. Sin embargo, la intensidad energética del sector industrial de los países fuera de la OCDE es más alta que la de su contraparte. Lo anterior revela, por un lado, las diferencias entre el tipo de industria y, por otro lado, la oportunidad para mejorar la eficiencia de los procesos y el aprovechamiento de fuentes renovables con menores costos en comparación con fuentes tradicionales.

Las fuentes de energía utilizadas dentro del sector industrial son en su mayoría fósiles. El uso de combustibles líquidos, gas natural y carbón representa el 64% del consumo de energía, la electricidad participa con el 26% y las energías renovables una proporción de apenas 7% (Gráfica 5).

¹⁷ En Estados Unidos de América, de acuerdo con la "Ley de Independencia y Seguridad Energéticas de 2007" (Congress, 2007), el término "industria intensiva en energía" significa una industria que usa cantidades significativas de energía como parte de sus principales actividades económicas.

Gráfica 5. Consumo final de energía en el sector industrial a nivel mundial en 2014



Fuente: Elaboración propia con datos de (IEA, 2016a)

La rigidez de los procesos industriales hace que el cambio de fuentes de energía sea bastante lento, se espera que en 2040 la estructura permanezca prácticamente constante. En este periodo el gas natural y la electricidad serán las fuentes de energía con más rápido crecimiento.

Por otro lado, durante 2014 el sector industrial fue el tercer emisor de gases de efecto invernadero con 6.1 Giga toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, solo por debajo del sector eléctrico y transporte, equivalentes al 20% del total de las emisiones globales (IEA, 2016b).

Gran parte de la energía consumida por el sector industrial es utilizada con fines térmicos, sobre todo en las industrias intensivas donde hasta el 74% de la energía consumida es utilizada para generar calor de proceso. De la demanda total de energía térmica en la industria, 48% es requerida para calor de alta temperatura, 22% para calor de media temperatura y el restante 30% para calor de baja temperatura (Gráfica 6).

Gráfica 6. Distribución de la demanda de energía final en la industria a nivel global



Fuente: International Renewable Energy Agency (IRENA), cálculos realizados por Deger Saygin basados en la fuente International Energy Agency (IEA), World Energy Statistics 2016, tablas online www.iea.org/statistics/

El uso de calor en la industria se encuentra presente en prácticamente toda la cadena de fabricación, desde la extracción de materias primas hasta la transformación de materiales y procesos de acabado final para su distribución a los consumidores. A continuación, se muestran los procesos más representativos y rangos de temperatura empleados en la industria.

CALOR DE TEMPERATURA BAJA (MENOS DE 150 °C)

Ebullición, pasteurización, esterilización, limpieza, secado, lavado, blanqueamiento, vaporizado, decapado, cocción.

CALOR DE TEMPERATURA MEDIA (DE 150 °C A 400 °C)

Destilación, fusión de nitratos, coloración, compresión.

CALOR DE TEMPERATURA ALTA (MÁS DE 400 °C)

Procesos de transformación de materiales.

Fuente: (IRENA, 2015a)



2.3 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

En este contexto, la energía solar térmica ofrece una alternativa limpia y económicamente rentable para suministrar las necesidades de calor de la industria en comparación con los combustibles tradicionales, favoreciendo la competitividad y sustentabilidad del sector.

Existen diferentes dispositivos solares que pueden satisfacer la demanda de calor de acuerdo con el rango de temperatura en el que operan. La implementación de esta tecnología permite mejorar la calidad de vida de la población disminuyendo la incidencia de enfermedades respiratorias, principalmente en centros urbanos, ya que permite reducir la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes fijas basados en combustibles fósiles.

Además, contribuye a la lucha contra el cambio climático a nivel global, al evitar la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

El despliegue de la tecnología solar térmica para aplicaciones industriales es relativamente bajo en relación con el sector residencial, sin embargo, en los últimos años se ha observado un aumento importante de nuevas plantas solares para generar calor de proceso en todo el mundo.

Existen tres diferencias principales entre los sistemas térmicos para aplicaciones residenciales y aquellos destinados a usos industriales, por lo tanto, requieren de tecnologías diferentes que se adapten a las necesidades, lo que en parte explica el motivo por el cual la penetración en el sector industrial ha sido muy limitada.

- + Los procesos industriales requieren un mayor volumen de calor
- + Los procesos industriales son continuos en general, por lo cual la demanda de calor es constante en el tiempo, y
- + Los procesos industriales requieren temperaturas de operación más altas

Aproximadamente 50% del consumo energético del sector industrial es utilizado para proporcionar energía térmica por debajo de los 400°C (IRENA, 2015a). Esto significa un gran potencial para el despliegue de dispositivos solares térmicos, ya que la tecnología disponible para este rango de temperaturas cuenta con un grado de desarrollo suficientemente avanzado a escala comercial para garantizar costos competitivos en la actualidad.

La mayoría de los procesos industriales requieren el calentamiento de una corriente de fluido (agua, vapor, aceites térmicos) y el calentamiento de depósitos o reactores. Los sistemas de calentamiento convencionales para suministrar el calor necesario se basan en el vapor o el agua caliente de una caldera; como se ha observado para este fin se utilizan principalmente combustibles fósiles como derivados del petróleo, el gas natural y el carbón.

En este contexto, los principales impulsores para la implementación de tecnologías solares térmicas en los procesos industriales son:

1. reducción de los riesgos asociados con los precios cada vez más volátiles y en aumento en el precio de los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural;
2. aumento de la competitividad de la industria a través de la reducción de los costos de combustible;
3. reducción de las emisiones de dióxido de carbono; y
4. cobertura de las necesidades energéticas específicas en los procesos de producción.

La energía solar térmica puede satisfacer una cantidad significativa de la demanda de calor en la industria y en el procesamiento de alimentos del sector agrícola en cualquier país y con independencia de la ubicación geográfica. En las economías desarrolladas, la energía solar térmica puede proporcionar técnicamente, aproximadamente la mitad de este consumo de energía mediante el suministro de agua caliente y vapor en un rango de temperatura de hasta 400°C (IRENA, 2015a). En los países en desarrollo, especialmente en aquellos en los que la agricultura, la industria textil, la industria de fabricación de ladrillos y la industria alimentaria son importantes subsectores, la energía solar térmica puede proporcionar aire caliente y agua caliente para curar, secar, teñir, lavar, hervir, pasteurizar y esterilizar.

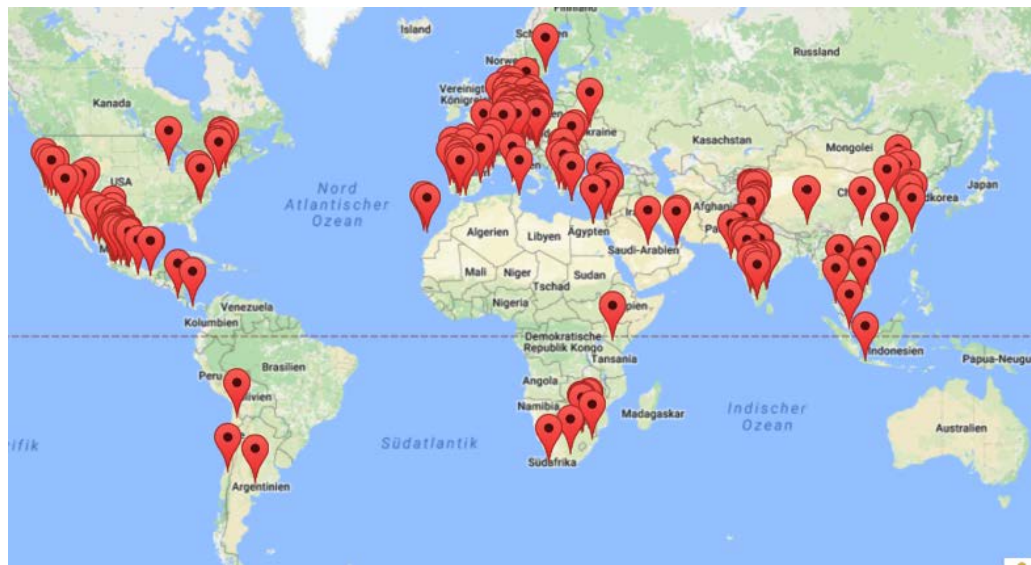
IRENA estima, en su estudio *Solar Heat for Industrial Processes* de 2015, que en el sector industrial al nivel mundial existe un potencial técnico para suministrar 15 Exajoules (EJ) de energía térmica a través de la tecnología solar hacia el año 2030 (10% de la demanda total de energía del sector). En términos de la capacidad que podría instalarse de estos sistemas, significa aumentar de 93 a 850 GW_t al año 2030.

Sin embargo, la estimación del potencial considera la disminución de costos en los sistemas, sin ella y de continuar con los subsidios a los combustibles fósiles, el potencial disminuye a 470 GW_t. Por otro lado, el potencial económico bajo las condiciones actuales es mucho menor, únicamente se estima que podría llegar a 3.3 EJ (180 GW_t) siempre y cuando los costos de la tecnología disminuyan. Si por el contrario estos se mantienen estáticos, el potencial disminuye hasta únicamente 30 GW_t.

De acuerdo con un estudio publicado por la empresa de comunicación Solrico, a principios de 2017, los diseñadores de sistemas y los fabricantes de colectores reportaron más de 500 sistemas solares térmicos para producción de calor en procesos industriales. La superficie total de colectores instalada ascendió a 416,414 m² (280 MW_t) para el calentamiento de procesos solares en todo el mundo (solrico, 2017).

De dicha superficie instalada, se cuenta con información detallada en la base de datos en línea de la IEA, en la cual hasta enero de 2017 se tenían reportados 243 proyectos solares térmicos con aplicaciones industriales, cuya capacidad fue 126 MW_t (>190,220 m²), muy superior a los 42 MW_t reportados en 2010 (60,000 m²). Del total de estas plantas, solamente 25 contaban con capacidades superiores a los 1,000 m² de extensión y alrededor del 79% de las instalaciones utilizaron tecnología convencional (colectores solares planos y de tubos evacuados), 11% corresponde a plantas que emplean colectores de concentración solar cilíndrico-parabólicos. Las ramas industriales donde fueron implementados se concentran sobre todo en la industria de los alimentos (27%), minería (26%) y bebidas (6%). El resto de las aplicaciones se encuentran distribuidos en diversos procesos de manufactura.

Figura 1. Distribución mundial de los proyectos solares térmicos industriales



Fuente: (AEE INTEC, 2018)

En la Figura 1 se observa la distribución mundial de proyectos solares térmicos en el área industrial. El uso de tecnologías solares en procesos industriales continúa siendo apoyado por la investigación y el financiamiento para proyectos de demostración, así como subsidios gubernamentales. Sin embargo, cada vez se instalan más proyectos llave en mano que aprovechan los bajos costos de las instalaciones solares sin la necesidad de subsidios.

2.3.1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS CLAVE EN LOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS INDUSTRIALES

Una instalación solar para producción industrial consiste en un campo de colectores solares a través del cual se hace circular agua o un fluido de trabajo. Para procesos industriales, las tecnologías más apropiadas son los colectores de aire, colectores de agua y colectores de concentración solar.

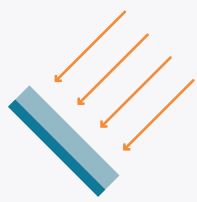
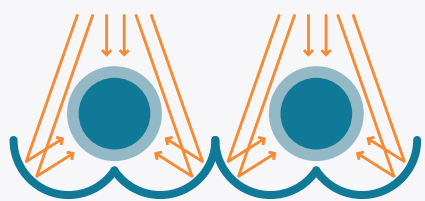
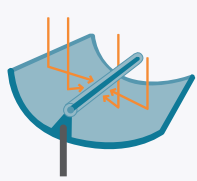
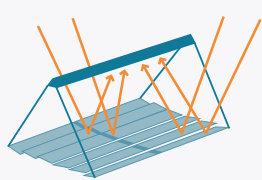

Los colectores de aire se encuentran principalmente en la industria de los alimentos con aplicaciones de secado. Los sistemas de calentamiento de agua convencionales, CP o CTE (colectores de placa plana o de tubos evacuados), también pueden ser utilizados con fines industriales y la gran mayoría de casos utiliza esta tecnología.

Para suministrar temperaturas más elevadas, los colectores de concentración solar resultan una buena opción para el sector industrial, ya que son sistemas mucho más sofisticados y robustos. Ello implica que requieren una mayor inversión inicial, la cual se recupera en periodos aceptables de tiempo, brindando costos competitivos para el suministro de calor en sus operaciones.

Un ejemplo de aplicación de esta tecnología se encuentra en las industrias lecheras de México, Italia e India, en las industrias farmacéuticas de Jordania y Egipto, en la industria textil de Alemania o en la desalinización de agua en California, solo por mencionar algunos proyectos en operación.

De manera esquemática, se muestran a continuación las tecnologías disponibles para generar calor solar aplicado a procesos industriales (Figura 2).

Figura 2. Tecnologías disponibles para calor de procesos

<ul style="list-style-type: none"> + Colector de placa plana (CP) + Colector de tubos evacuados (CTE) 	
<ul style="list-style-type: none"> + Colector de tubos evacuados con concentrador parabólico compuesto (CPC) 	
<ul style="list-style-type: none"> + Colector cilíndrico-parabólico 	
<ul style="list-style-type: none"> + Colector Fresnel lineal 	
<ul style="list-style-type: none"> + Colector de plato parabólico 	

Fuente: (Solar Payback, 2017)

La tecnología de colectores de placa plana y de tubos evacuados (CP y CTE) es capaz de proveer agua con una temperatura entre 80 y 150°C. El mismo tipo de tecnología puede aumentar su eficiencia y el rango de temperaturas en las que opera mediante la integración de sistemas como los que emplean colectores evacuados de ultra alto vacío, con lo que pueden llegar a suministrar un fluido de trabajo por arriba de los 200°C, sin embargo, la integración de estos aditamentos aumenta el costo del sistema. Los concentradores solares, por otro lado, pueden proveer temperaturas hasta por encima de los 400°C (Tabla 3).

Tabla 3. Rangos de temperatura en calor de proceso y sistemas solares adecuados para suministrarlo

RANGO DE TEMPERATURA DE CALOR	TECNOLOGÍA	RANGO DE
Calor de temperatura baja (menos de 150 °C)	<ul style="list-style-type: none"> • Colectores de aire • CP, CTE y CTE con concentración¹⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> • < 60°C • 60°C – 150°C
Calor de temperatura media (150 °C a 400 °C)	<ul style="list-style-type: none"> • Cilíndrico-parabólico / Fresnel lineal de pequeñas dimensiones sin receptor evacuado • Plato parabólico • Cilíndrico-parabólico / Fresnel lineal de grandes dimensiones con receptor evacuado 	<ul style="list-style-type: none"> • 150°C – 250°C • 150°C – 300°C • 300°C – 400°C

Fuente: Elaboración propia

La selección de uno u otro tipo de tecnología depende en gran medida de los requerimientos térmicos del proceso. Sin embargo, además de la temperatura, los factores más importantes a tener en consideración para la selección del tipo de tecnología solar para procesos industriales son:

- a) Que la temperatura de operación típica del colector cumpla con los requisitos para el calor requerido en el proceso industrial
- b) El diseño debe ser apto para el fluido caloportador elegido
- c) Certificaciones según normas nacionales o internacionales
- d) Rendimiento energético certificado por una tercera parte acreditada
- e) Suficiente resistencia a la presión
- f) Manejo adecuado del estancamiento y prevención del sobrecalentamiento
- g) Peso adecuado para la instalación sobre el techo o tamaño adecuado para la instalación sobre el suelo
- h) Variación del suministro y demanda de energía
- i) Precio de la tecnología

En [Figura 3](#) se explica el comportamiento típico de la eficiencia térmica de las diferentes tecnologías de colectores solares.

¹⁸ CTE con concentración, se refiere a colectores de tubos evacuados con concentrador parabólico compuesto.

Figura 3. Eficiencia térmica de los colectores solares

La eficiencia de los sistemas solares térmicos (η) se define como la razón entre la potencia térmica entregada y la irradiación solar recibida en el área del colector.

Normalmente se representa como $\frac{\Delta T}{G_T}$

Dónde:

ΔT (K) es la diferencia entre la temperatura promedio del fluido y la temperatura atmosférica, en kelvin

G_T (W/m²) es la cantidad de irradiación solar recibida por el colector

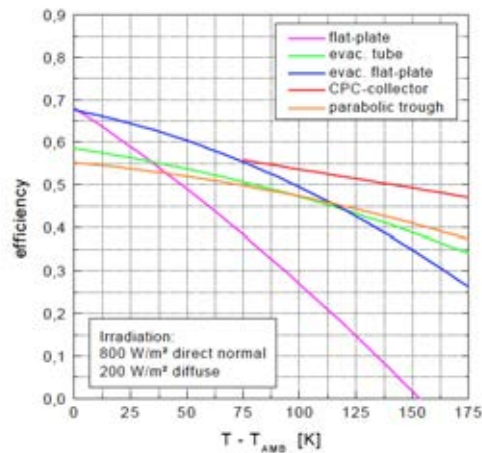
Por lo tanto:

$$\eta = C_0 - (C_1 + (C_2 \Delta T)) * \frac{\Delta T}{G_T}$$

Dónde:

C_0 es la eficiencia óptica (una función de las características del colector, transmisión de calor de la superficie, absorción y reflectividad de los espejos en el caso de los colectores solares)

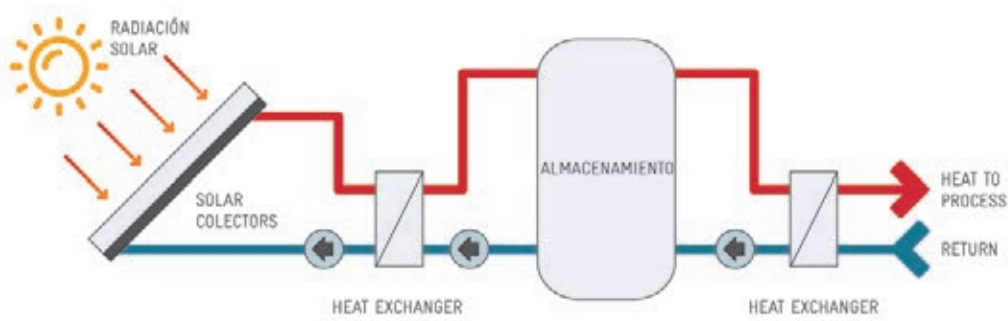
C_1 y C_2 son los coeficientes lineares y cuadráticos de pérdida de calor, parámetros que caracterizan la pérdida de calor del colector hacia la atmósfera (incluyendo a los mecanismos de convección, conducción y radiación). C_1 (W/Km²); C_2 (W/K²m²).



Fuente: (AIGUASOL, 2001)

En cuanto a la variación en el suministro de energía hay que tomar en cuenta por un lado la variabilidad en la insolación solar en el sitio, una característica propia de cualquier tipo de tecnología para el aprovechamiento de la energía solar. Además, los procesos industriales por lo general operan sólo 5 o 6 días a la semana y están inactivos durante el fin de semana. Con estas circunstancias, el sistema puede incluir la opción de almacenamiento, de tal manera la energía recogida durante los fines de semana puede ser utilizada en los días laborales. Si las características del proceso conducen a fuertes fluctuaciones de la demanda de calor del proceso durante los períodos de funcionamiento (picos de demanda, paros del proceso por acciones de mantenimiento), las opciones de almacenamiento y control del suministro se vuelven indispensables. El principio de un sistema térmico solar con almacenamiento se muestra en Figura 4.

Figura 4. Sistema de almacenamiento



Fuente: (AIGUASOL, 2001)

Una de las principales limitantes para aumentar la capacidad de los sistemas solares industriales es la dimensión de la propia industria, de manera análoga a las limitaciones de la generación distribuida en hogares por medio de paneles fotovoltaicos. La mayoría de los sistemas solares térmicos en aplicaciones industriales a nivel mundial son proyectos de pequeña escala, por lo regular menores a 500 m² de colectores solares. Sin embargo, la industria ha empezado a incursionar en proyectos de mayor escala, alcanzando sistemas de hasta 39,300 m² en la industria minera de Chile, por ejemplo, o un sistema de casi 10 mil metros cuadrados (planta Ruyi Textile, China).

Las siguientes tablas muestran algunas de las características más relevantes de las tecnologías solares más representativas para temperaturas bajas y medias.

Tabla 4. Comparación entre las tecnologías de colectores solares planos en México

CARACTERÍSTICAS	COLECTORES DE PLACA PLANA	RANGO DE TEMPERATURA		
		VIDRIO	TUBOS ALETADOS	TUBOS DE CALOR
Ángulo de aceptación (grados)	180	85-100	180	180
Fabricación mexicana	Si	No	No	No
Cubierta	Vidrio, Policarbonato	Tubo de vidrio de borosilicato	Tubo de vidrio de borosilicato	Tubo de vidrio de borosilicato
Absorbedor	Tubos de cobre con placa de cobre	Tubo de vidrio de borosilicato	Tubo de cobre en U aletado	Tubo de calor de cobre, solo o aletado
Recubrimiento	TiNOx, Cromo negro	Cu / SS / AL N	TiNOx, Cromo negro	TiNOx, Cromo negro
Aislante	Lana Mineral, Poliuretano, Poliisocianurato	Vacío	Vacío	Vacío
Durabilidad (años)	30	15	15	15
Energía diaria por unidad de área (MJ/m ² día) para un mismo nivel de irradiación	9.63	6.84	8.07	7.9
Coefficiente global de transferencia de calor, UL, (W/Km ²)	3.5	0.8	0.8	0.8
Presión de trabajo (bar)	4	1	4	4
Cantidad de cobre por metro cuadrado (kg/m ²)	4.5 a 6	0	5.8	2.2 a 3.2

Fuente: Modificado de (GIZ, 2016a)

Tabla 5. Características de colectores solares seleccionados para aplicaciones de media temperatura

CARACTERÍSTICAS	COLECTOR PLANO EVACUADO	COLECTOR CILÍNDRICO-PARABÓLICO	COLECTOR FRESNEL LINEAL
Eficiencia óptica	0.55	0.6 – 0.76	0.635 – 0.76
Temperatura máxima de operación [°C]	200	200 – 400	150 – 400
Presión máx. de operación [bar]	-	Hasta 55	8 – 120
Medio de transferencia de calor	Agua presurizada (con o sin glicol), aceite térmico	Agua presurizada (con o sin glicol), agua / vapor (generación directa de vapor), aceite térmico	Agua presurizada (con o sin glicol), agua / vapor (generación directa de vapor), aceite térmico
Aplicaciones	Agua caliente sanitaria, procesos industriales, cocción solar, generación eléctrica	Generación de vapor, sistemas de calentamiento, sistemas de enfriamiento, producción de electricidad	Calor de proceso, enfriamiento solar, poligeneración

Fuente: A partir de datos de (IEA SHC Task 49, 2015)

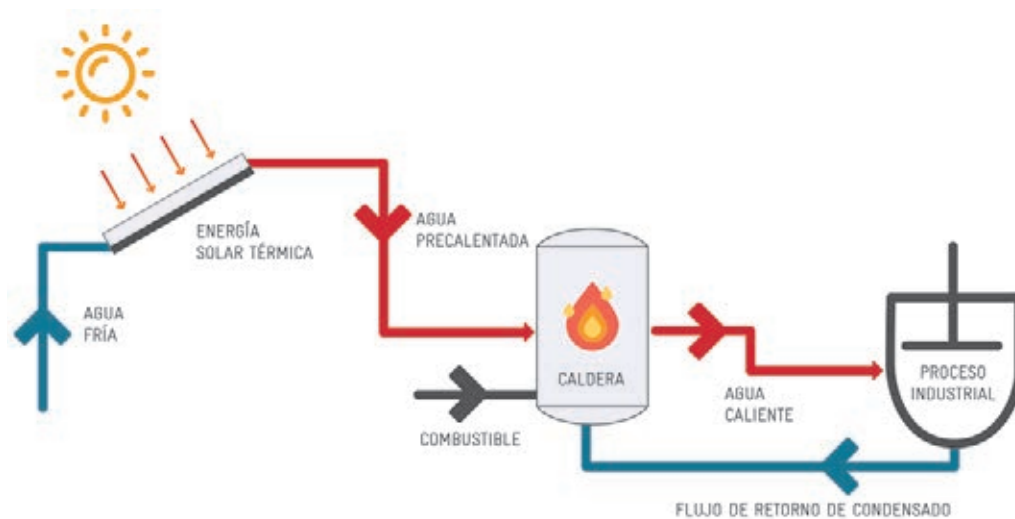
2.3.2 INTEGRACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS AL SECTOR INDUSTRIAL

La integración de los sistemas solares térmicos a procesos industriales en general puede realizarse de tres formas distintas:

a) Precalentamiento

El agua fría se precalienta en el campo solar y se introduce en un depósito de almacenamiento donde se calienta mediante una caldera de combustible fósil a la temperatura del proceso de producción requerida (ver proceso simplificado en la Figura 5).

Figura 5. Usos indirectos, precalentamiento

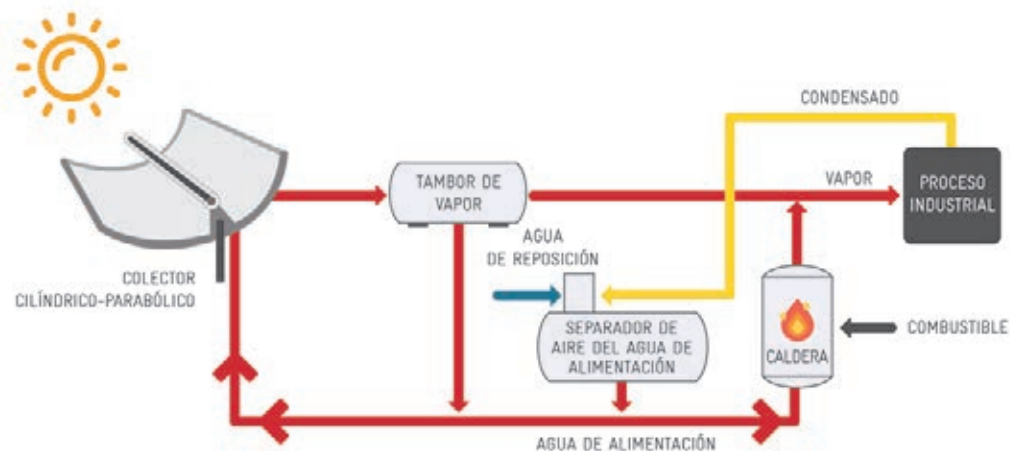


Fuente: (IRENA, 2015a)

b) Generación directa de vapor

El agua se evapora parcialmente en los colectores concentradores. El vapor calentado mediante energía solar se separa del agua restante dentro del tambor de vapor antes de ser enviado al proceso industrial o a la red de vapor de la fábrica. El condensado tratado, también llamado agua de alimentación, se envía de nuevo al campo de colectores. Otra opción es la generación de vapor indirecta. En este caso, el campo de colectores calienta el agua o el aceite térmico en un circuito cerrado para generar vapor mediante un intercambiador de calor (ver proceso simplificado en la [Figura 6](#)).

Figura 6. Sistema solar que suministra calor directamente a un proceso industrial



Fuente: (IEA SHC Task 49, 2015) y (Solar Payback, 2017)

c) Calentamiento de procesos

El campo solar proporciona calor a una determinada temperatura para mantener la temperatura de un baño o un proceso de separación térmica. Se suministra calor adicional al proceso de producción mediante una caldera de combustible fósil. Ambos circuitos están cerrados de manera que el agua enfriada vuelve al campo de colectores o a la caldera respectivamente ([Figura 7](#)).

Figura 7. Sistema solar que suministra calor directamente a un proceso industrial



Fuente: (IRENA, 2015a) y (Solar Payback, 2017)

2.3.3 RAMAS INDUSTRIALES CON POTENCIAL DE APLICACIÓN

Los procesos industriales con condiciones favorables para el uso de energía solar son aquellos con una demanda continua de calor durante el día y estable a través del año. Algunos ejemplos de estos procesos incluyen el calentamiento de líquidos para lavado, tratamientos químicos, generación de vapor de baja presión, procesos de secado, entre otros.

Los subsectores con mayor potencial para la implementación de sistemas de calor solar son la industria de los alimentos y en particular de bebidas (lecherías y cervecerías), textil, maquinaria y la industria del papel, ya que aproximadamente 60% de sus demandas de calor se encuentran por debajo de los 250 °C donde los costos de las tecnologías son más bajos (Tabla 6).

En la Tabla 6 se muestran los requerimientos térmicos de diferentes ramas industriales.

Tabla 6. Rangos de temperatura de distintas ramas industriales

RAMO INDUSTRIAL	OPERACIÓN	TEMPERATURA DEL PROCESO (°C)
Alimentos	Secado	30-90
	Lavado	60-90
	Pasteurización	60-80
	Ebullición	95-105
	Esterilización	110-120
	Tratamiento térmico	40-60
Bebidas	Lavado	60-80
	Esterilización	60-90
	Pasteurización	60-70
Papel	Cocinado y secado	60-80
	Precalentamiento de agua	60-90
	Blanqueamiento	130-150
Textil	Blanqueamiento	60-100
	Tintura	70-90
	Secado	100-130
	Desengrasado	100-130
	Lavado	40-80
	Fijación	160-180
	Prensado	80-100
	Jabones	200-260
Química	Caucho sintético	150-200
	Calor de proceso	120-180
	Precalentamiento de agua	60-90
	Preparación	120-140
Plástico	Separación	140-150
	Destilación	200-220
	Extensión	140-160
	Secado	180-200
	Mezclado	120-140
	Curado	60-140
Ladrillos y bloques	Curado	60-140
Tratamiento de superficies metálicas	Tratamiento, Electro-pintado	30-80
Sub-productos del Flúor	Esterilización	60-90
Todas las ramas	Precalentamiento de agua	30-100
	Enfriamiento	55-180
	Calentamiento de espacios	30-80

Fuente: (IRENA, 2015a)





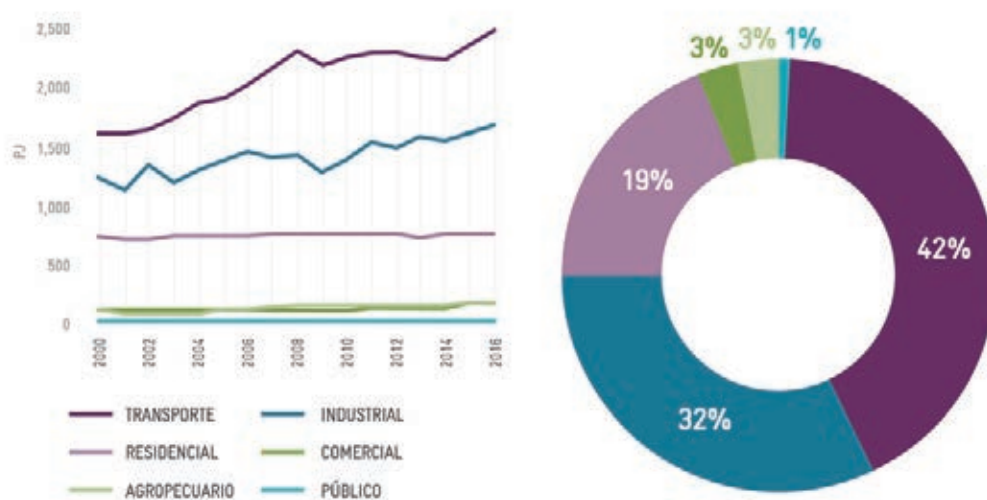
3

EL SECTOR INDUSTRIAL MEXICANO Y LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA



El sector industrial en México ha observado un crecimiento moderado en su consumo energético durante el periodo 2000-2016, con una tasa media de crecimiento anual de 1.9%, pasando de 1,236 PJ a 1,681 PJ por año. En 2016 el uso de energía en la industria implicó el 32% del consumo final del país, y representa el segundo sector con mayor consumo energético, solo por debajo del sector transporte (Gráfica 7).

Gráfica 7. Distribución y evolución del consumo de energía por sectores en México en el año 2016



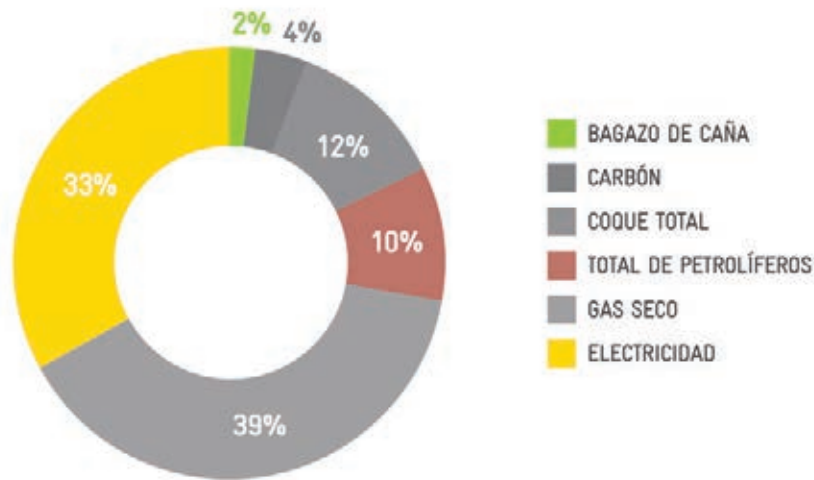
Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2018)

Las principales fuentes que abastecen la demanda de energía del sector industrial son el gas natural con 39% y la electricidad con 33% del consumo final; en tercer lugar, se encuentra el coque, tanto de carbón como de petróleo, con 12%; seguido por los petrolíferos (diésel, combustóleo, querosenos, gas LP) con 10%; el carbón contribuye con el 4% y, la utilización del bagazo de caña ha aumentado hasta proveer 38 PJ¹⁹ de energía lo que representa el 2% del consumo del sector.

El aprovechamiento del recurso solar sigue siendo muy limitado, sin embargo, ha aumentado en los últimos años. Durante 2013 se consumieron 0.380 PJ de energía solar, y en el año 2016 el consumo ascendió a 0.616 PJ (SENER, 2017a), un incremento del 62% en solo tres años. A pesar de lo anterior, el aprovechamiento de este tipo de energía se encuentra por debajo del 0.04% del consumo energético total del sector industrial (Gráfica 8).

¹⁹ La utilización del bagazo de caña en el sector industrial se concentra en el subsector de la elaboración de azúcar.

Gráfica 8. Formas de energías utilizadas en el sector industrial mexicano en el año 2016

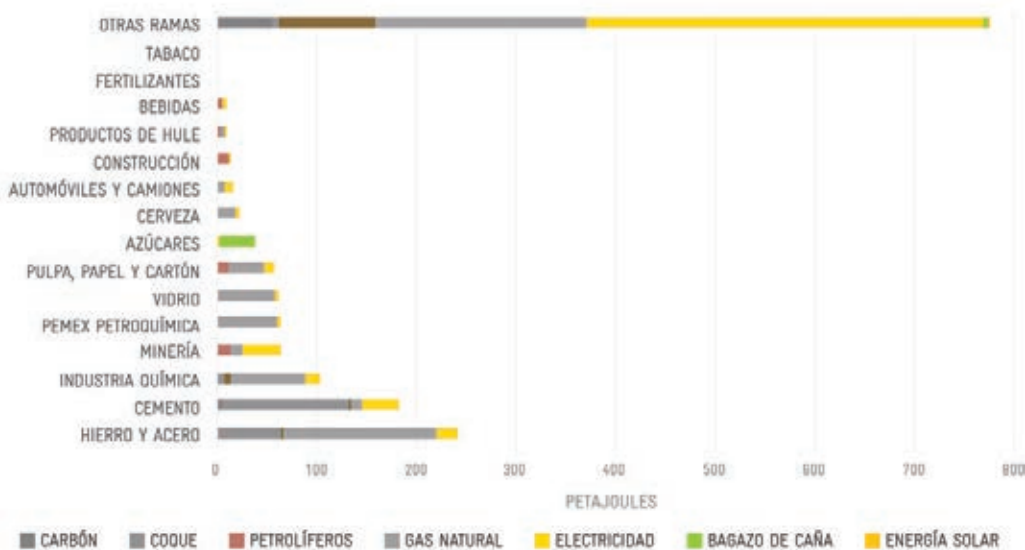


Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2018)

En cuanto al tipo de actividad industrial desarrollada en México, la industria del hierro y el acero es la que observa mayor consumo de energía con el 14% del total, seguida por la fabricación del cemento con 11% del consumo de 2016. Si tomamos en consideración a la industria química, petroquímica (PEMEX petroquímica) y la minera (minerales metálicos y no metálicos) con consumos de 6, 4 y 4% del total respectivamente, encontramos que en estos cinco subsectores se concentra el 39% de la demanda energética del sector industrial mexicano. Las actividades de estas ramas industriales requieren de grandes cantidades de calor a muy alta temperatura, por lo que el reemplazo de los combustibles utilizados para satisfacer la demanda por fuentes de energía renovable, como el calor solar, significa un reto importante.

Cabe mencionar que una gran parte del consumo del sector industrial se encuentra en la categoría denominada "Otras Ramas", con 46% de la demanda de energía. El nivel de agregación de los datos actuales impide conocer los requerimientos energéticos específicos de estas ramas del sector industrial en México, dificultando identificar las áreas de oportunidad para la implementación de dispositivos que aprovechen las fuentes de energía renovable. Además, en el caso de los sectores químico y petroquímico, donde el consumo de gas natural ayuda a satisfacer el 70 y 93% de la demanda respectivamente, se desconoce la fracción de este energético destinado a formar parte de la elaboración de productos y el uso térmico del mismo (Gráfica 9).

Gráfica 9. Consumo de energía por industria y tipo de combustible en los procesos, año 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2018)

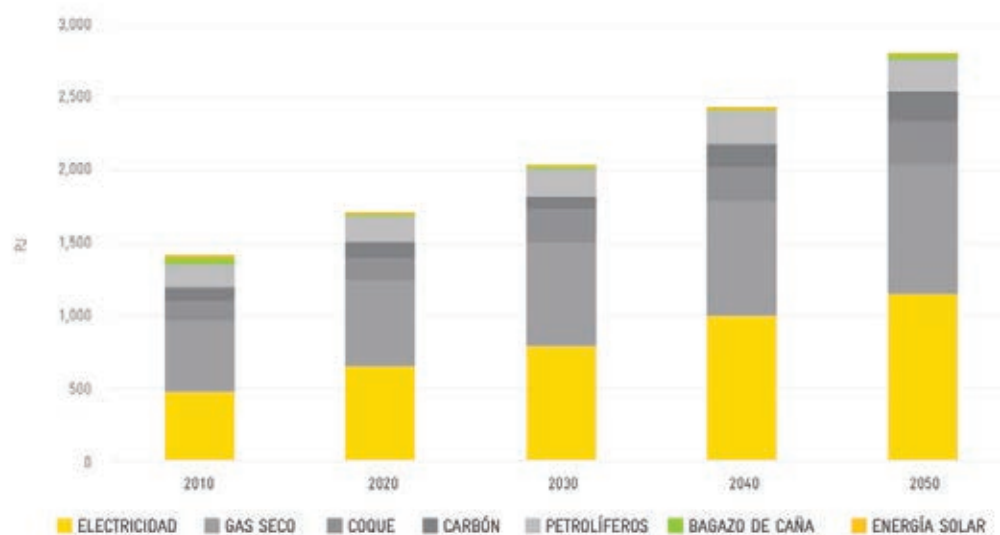
De las industrias intensivas en el país, la mayoría basa sus procesos en proporciones equivalentes o superiores al 67% a partir de combustibles fósiles, y en el caso específico de la industria del azúcar satisface la demanda de calor a través del uso del bagazo de caña. El uso de fuentes fósiles y bagazo de caña se destina para satisfacer principalmente necesidades de calor dentro de sus procesos, el cual se ubica en los siguientes niveles:

+ Pemex petroquímica	→	94%
+ Vidrio	→	93%
+ Hierro y acero	→	92%
+ Azúcares	→	90%
+ Industria química	→	84%
+ Productos de hule	→	83%
+ Cerveza	→	81%
+ Cemento	→	80%
+ Pulpa, papel y cartón	→	80%
+ Bebidas	→	67%

En el futuro se proyecta que el consumo energético del sector industrial pase de 1,600 PJ en 2015 hasta poco más de 2,000 PJ en el 2030, y se espera que se mantenga como el segundo sector consumidor de energía en México. Se prevé que la electricidad y el gas natural intensifiquen su participación en el sector de manera importante, en comparación con otras fuentes de energía.

Al igual que en el contexto internacional, se estima que el consumo del sector industrial en el país tienda hacia una mayor electrificación de los procesos y mayor consumo de gas natural. Ambas fuentes contribuirán a satisfacer el 73% de la demanda energética del sector, sin embargo, la proporción de gas natural (40%) será mucho mayor en comparación con la electricidad (33%) (GIZ, 2016c). En estas proyecciones se excluye la incorporación de las tecnologías solares para aplicaciones térmicas. Esto se debe principalmente a la falta de un marco de políticas públicas que fomenten el uso de esta fuente de energía (Gráfica 10).

Gráfica 10. Consumo de energía del sector industrial en el escenario base



Fuente: (SENER, 2016b)

La dimensión del consumo energético industrial también tiene importantes implicaciones en la emisión nacional de gases y compuestos de efecto invernadero. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, durante el año 2014, el sector industrial emitió alrededor de 73.97 millones de toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ y 31,814 toneladas de carbono negro (CN)²⁰. En el caso de las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, éstas representan el 17% del total nacional, únicamente por el consumo de combustibles; y la emisión de CN en procesos industriales representa el 27.6% de las emisiones de este contaminante.

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, agrupa una serie de industrias²¹ en un solo apartado, las cuales en su conjunto representan más de la mitad de las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ del sector. En contraste, las emisiones de carbono negro que ascienden al 99% del total de todo el sector en su conjunto.

Las industrias que consumen mayores volúmenes de energía anualmente, como la industria del cemento, siderurgia y química también representan importantes fuentes de emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, con 12.55, 9.25 y 4.88 millones de toneladas por año, respectivamente (SEMARNAT & INECC, 2015). Por la relevancia del volumen de emisiones anuales de las industrias antes mencionadas, representa un área de oportunidad para descarbonizar en alguna medida sus procesos a través de la implementación de proyectos de suministro de energías renovables, como es el caso de la energía solar térmica en los procesos productivos.

No obstante, la disponibilidad de información pública sobre el consumo de calor en los subsectores industriales es limitada en cuanto al consumo específico al nivel local de industrias intensivas y no intensivas de energía. Ello dificulta hasta ahora conocer con mayor precisión cuales son las características de la demanda de calor (volumen, temperatura, costos, entre otras variables), por lo cual es relevante mejorar la adquisición y procesamiento de información de manera sistemática y con calidad, que permita diseñar estrategias para reducir el consumo de combustibles fósiles de manera técnica y económicamente factible, así como identificar con mayor precisión el potencial de suministrar calor a partir de fuentes renovables de energía.



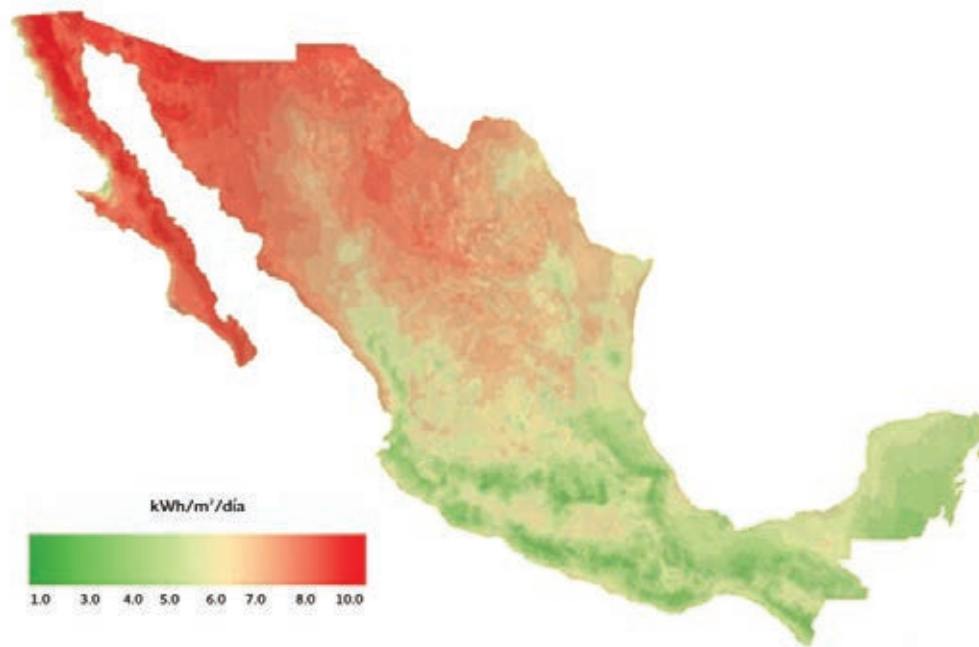
3.1 LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN MÉXICO

México cuenta con un recurso solar abundante, presentando condiciones ideales para el aprovechamiento de la energía solar, la irradiación global media diaria en el territorio nacional es de alrededor de 5.5 kWh/m², una de las mejores en el mundo (SENER, 2012). A pesar de estas condiciones, mucho de este recurso todavía no es aprovechado en los diferentes sectores de la economía. En la [Figura 8](#) se muestra la distribución de la irradiación directa en México en el mes de junio. Especialmente en el norte del país cuenta con un potencial muy alto en términos de disponibilidad del recurso solar.

²⁰ De acuerdo con el Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de 2014, en ese año se reportó la emisión de 436.08 MtCO_{2eq} y 115.401 Gg de Carbono Negro (CN) a nivel nacional.

²¹ Industria metalúrgica, vidrio, automotriz, alimentos, bebidas y tabaco, pinturas y tintas, celulosa y papel, productos metálicos, productos plásticos, asbesto, tratamiento de residuos peligrosos y textiles.

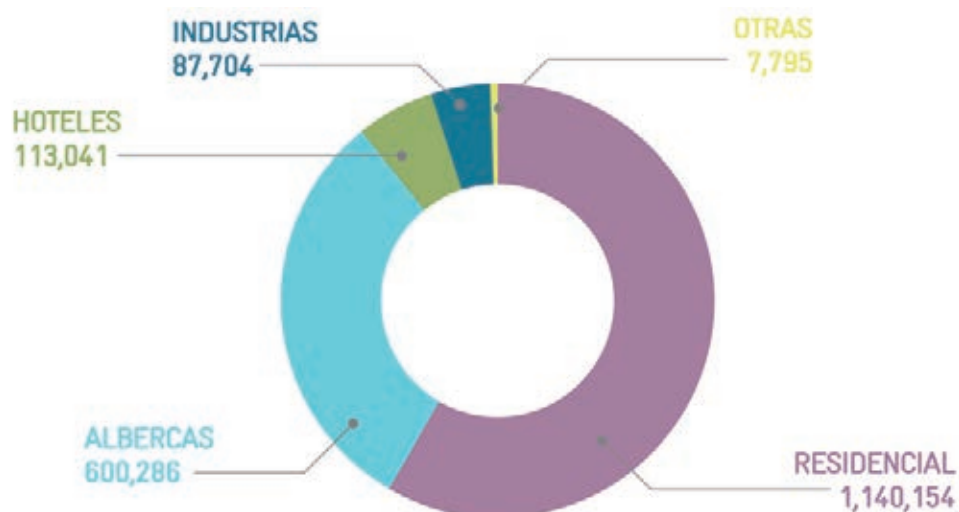
Figura 8. Irradiación solar directa media en el mes de junio



Fuente: (SENER, 2013)

Durante el año 2012, la capacidad instalada total de calentadores solares en el territorio nacional fue de aproximadamente 1.5 GW, un poco más de 2.2 millones de metros cuadrados de colectores solares (IRENA, 2015b). Un año antes, es decir durante 2011, se contaba con una instalación de aproximadamente 1.94 millones de metros cuadrados de calentadores solares de agua; la distribución de estos se concentró sobre todo en el sector residencial con el 58.5% del total instalado, el calentamiento de albercas representó el 30.8%, las aplicaciones en hoteles 5.8% y el sector industrial apenas el 4.5% del total (Gráfica 11).

Gráfica 11. Distribución sectorial de la capacidad instalada de CSA en México (m^2 , 2011)



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas & Amtmann, 2013)

Posteriormente, durante 2014, México se situó en el lugar número 15 con respecto a la capacidad total instalada a nivel mundial de calentadores solares con 1,979 MW_t, los cuales en su mayoría han sido de colectores solares de agua (colectores planos y de tubos evacuados) (Tabla 7).

Tabla 7. Capacidad instalada de sistemas solares térmicos en México

AÑO	COLECTORES SOLARES DE AGUA			COLECTORES DE AIRE		TOTAL
	NO VIDRIADO	PLANOS	TUBOS EVACUADOS	NO VIDRIADO	VIDRIADO	
MW _t						
2014	680.4	730.9	560.7	0.5	6.1	1,979
2013	598.7	659.7	489.5	0.5	6.1	1,755
2012	582.1	610.6	228.2	0.2	5.6	1,427
m ²						
2014	972,053	1,044,082	800,942	752	8,773	2,826,602
2013	855,253	942,482	699,342	752	8,773	2,506,602
2012	831,508	872,305	326,063	300	7,983	2,038,159

Fuente: (Mauthner, et al., 2017)

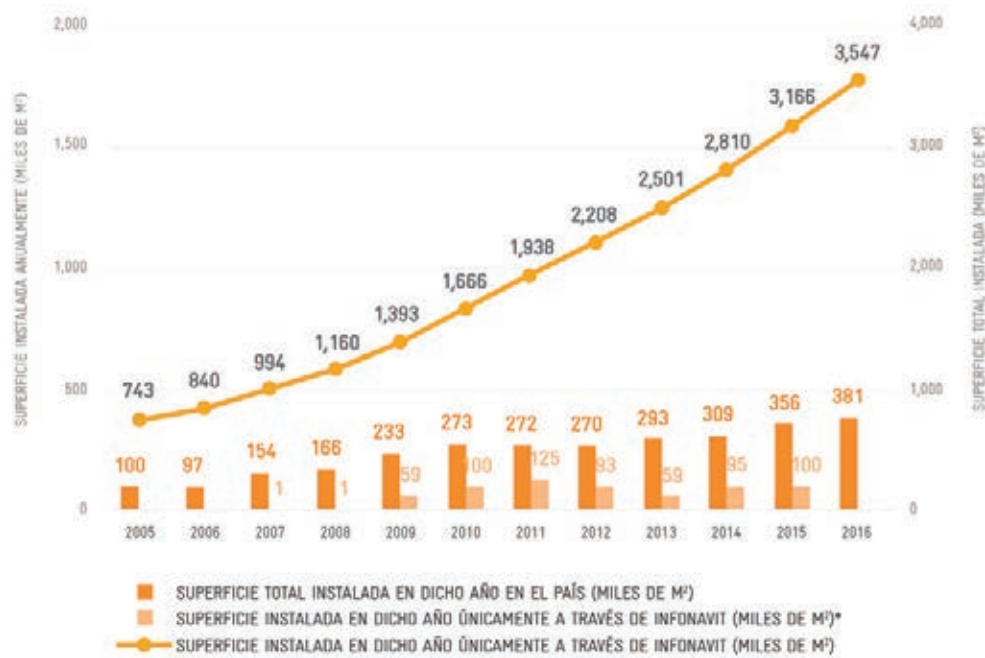
De acuerdo con el Balance Nacional de Energía 2016 (SENER, 2017a), el país alcanzó una superficie total instalada de 3.54 millones de metros cuadrados de colectores solares al cierre del año 2016. Parte del éxito en el aumento de la superficie instalada de sistemas solares térmicos en el sector residencial se debe a los programas de promoción que se han implementado en la materia, de los cuales sobresalen los siguientes:

- + **PROGRAMA DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA (PROCALSOL):** Ha sido el único programa a largo plazo realizado en México para apoyar el calentamiento solar de agua. Creado en 2007, el programa fue promovido y liderado por la Conuee y se conformó mediante la participación de organismos gubernamentales, asociaciones civiles y actores de diversa índole, comúnmente interesados en el impulso del calentamiento solar de agua. Inicialmente se fijó la meta de llegar en 2012 a una superficie instalada de 1.8 millones de metros cuadrados en todo el territorio nacional, principalmente en los sectores residencial, comercial, industrial y agronegocios.
- + **HIPOTECA VERDE:** Es un programa implementado por el INFONAVIT, que consiste en un monto adicional de crédito otorgado al derecho habiente para adquirir una vivienda con ecotecnologías, con la intención de generar ahorros en el consumo de agua y energía, dándole la posibilidad de una mayor capacidad de pago. Durante el periodo del año 2007–2015, INFONAVIT otorgó más de 395 mil financiamientos para la adquisición de vivienda social que incluyó la instalación de calentadores solares de agua.
- + **PROYECTO 25,000 TECHOS SOLARES PARA MÉXICO:** A partir de 2009, por encargo del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU), la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y el INFONAVIT acordaron unir esfuerzos para desarrollar el Proyecto “25,000 Techos Solares para México” por medio de la “Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI)” del BMUB²² y en el marco de la cooperación bilateral entre México y Alemania, con el objetivo de aumentar el uso de sistemas de calentamiento solar de agua en el sector residencial mexicano.

Basado en el exitoso *Programa de Incentivos de Mercado* de Alemania, se otorgarían 2.5 millones de Euros en subsidios para cubrir parcialmente el costo de inversión de hasta 25,000 colectores solares a través del sistema de crédito conocido como “Hipoteca Verde”, administrado por el INFONAVIT. Con la introducción de este modelo de subsidio innovador, México asumió un papel pionero entre los países en desarrollo y emergentes.

²² El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU) cambió su nombre a partir de diciembre de 2013 a Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (por sus siglas en alemán). A partir del 14 de marzo de 2018, nuevamente ha tomado el nombre de Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU).

Gráfica 12. Crecimiento y montos totales de la superficie instalada de colectores solares de agua en México (2005 – 2016)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Balance Nacional de Energía 2016 (SENER, 2017a) y estimaciones a partir de estadísticas de calentadores solares de agua instalados por el Programa Hipoteca Verde de INFONAVIT, (INFONAVIT, 2016) y (GIZ, 2015).

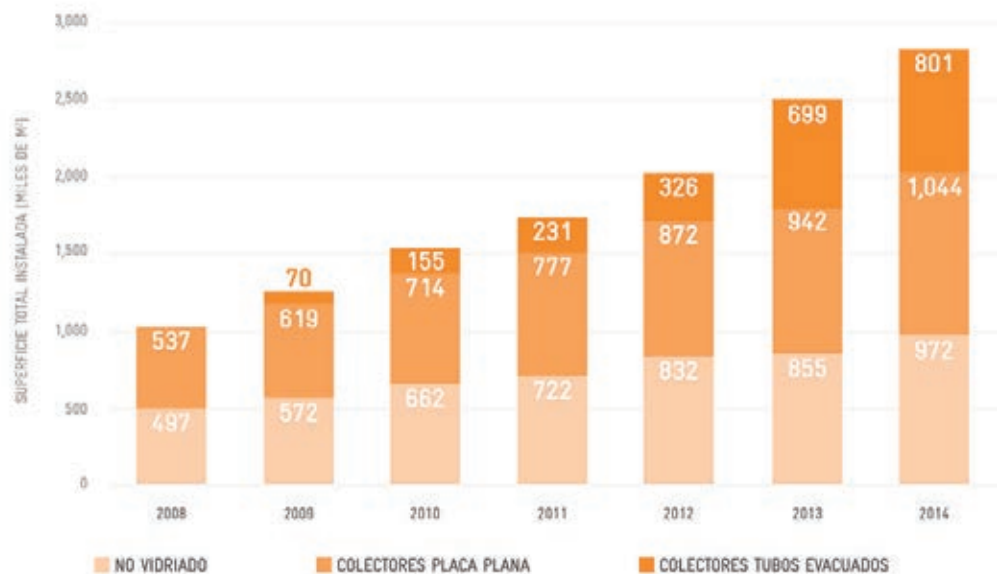
Nota: * La superficie instalada de calentadores solares de agua a través del Programa Hipoteca Verde de INFONAVIT fue estimada bajo el supuesto de que cada calentador solar de agua contaba con una superficie en promedio de 1.6 metros cuadrados cada uno.

Otro instrumento de política para la promoción de energías renovables que ha fomentado el despliegue de la energía solar térmica, han sido los incentivos de carácter fiscal como los establecidos en la *Ley del Impuesto sobre la Renta*. Dicha ley permite la depreciación acelerada para inversiones en energías renovables y la cogeneración eficiente (esta última a partir de 2014). Éste instrumento permite depreciar el 100% de las inversiones en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables y de la cogeneración eficiente aplicable, siempre que la maquinaria y equipos se encuentren en operación durante un periodo mínimo de cinco años.

3.1.1 MANUFACTURA DE COLECTORES SOLARES EN MÉXICO

La fabricación de colectores solares planos de agua se remonta a la década de 1970, y tradicionalmente era la tecnología que dominaba la superficie instalada en el mercado mexicano. A raíz de la importación de colectores solares de tubos evacuados en México a partir del año 2009, equipos provenientes principalmente de China, la cuota de mercado de esta tecnología ha crecido de manera importante ocupando el 28% del mercado en el año 2014 (800,942 m²) (Gráfica 13). Se estima que actualmente el volumen de importaciones de tubos evacuados desde China representa alrededor de 25 a 30 millones de dólares anualmente.

Gráfica 13. Superficie total instalada de calentadores solares de agua en México, por tipo de tecnología (2009 – 2014)



Fuente: (Mauthner, et al., 2017)

Las plantas de manufactura nacionales produjeron aproximadamente 142 mil metros cuadrados de colectores solares planos durante 2015, soportada principalmente por 7 empresas mexicanas: Módulo Solar, Desarrollo, IUSA, Captasol, Sunway, Oro Solar y Kioto Clear Energy.

Se estima que actualmente las plantas de manufactura operan en promedio entre el 65 y 70% de su capacidad total instalada, con jornadas de producción de 8 horas diarias por cinco días a la semana. Tomando en cuenta esta consideración, los fabricantes nacionales de colectores solares tienen la flexibilidad, casi de manera inmediata, de duplicar su volumen de producción anual alcanzando niveles de producción de aproximadamente 300 mil metros cuadrados de colectores. Con ello, sería posible atender un aumento en la demanda proveniente de proyectos a instalar en el sector industrial, sin la necesidad de realizar inversiones adicionales en infraestructura de manufactura.

Cabe mencionar que las empresas Módulo Solar y Captasol, también son fabricantes de colectores de aire con cubierta de vidrio y/o policarbonato.

3.1.2 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MATERIA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PROCESOS INDUSTRIALES

Desde varias décadas atrás, se llevan a cabo actividades de investigación en el ámbito de la energía solar por parte de instituciones mexicanas.

En los años 80, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, construyó en el sur de la Ciudad de México una planta solar de concentradores de canal parabólico, con el objetivo de realizar trabajos de investigación encaminados al estudio de la generación directa de vapor para generación de electricidad y el desarrollo de espejos y filtros solares.

En 1985 también fue fundado el Laboratorio de Energía Solar (ahora Instituto de Energías Renovables – IER) de la UNAM, uno de los primeros centros de investigación dedicados al desarrollo de tecnologías renovables, que cuenta con líneas de investigación enfocadas al aprovechamiento de la energía solar térmica, por ejemplo, concentración solar, refrigeración solar y evaluación de sistemas solares.

En el año 2008 entró en operación el Laboratorio de Pruebas de Equipos de Calentamiento Solar (LAPECAS), con la misión de proveer servicios de pruebas de tecnología a la industria, abarcando una amplia gama de aplicaciones que van desde el calentamiento de agua para uso doméstico hasta sistemas de concentración solar para generar calor o frío.

Posteriormente, en el año 2010, se puso en marcha el Laboratorio Nacional de Infraestructura en Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (LACYQS), a través de recursos aportados por el CONACyT, la UNAM y otros centros e instituciones de investigación superior, como el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, la Universidad de Sonora y capital privado. Este laboratorio persigue el avance en el conocimiento de las tecnologías de la energía solar para su mejor aprovechamiento, mediante pruebas de sistemas de concentración solar con conceptos novedosos, incluidas las aplicaciones para generar calor en procesos industriales.

Más recientemente, en México se han realizado esfuerzos para consolidar la investigación y desarrollo tecnológico para fomentar las energías limpias, a través de la creación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs). Hasta hoy se cuenta con cinco CEMIEs: solar, eólico, geotermia, fuerzas del océano y biocombustibles, todos ellos enfocados en reducir la brecha tecnológica y colocar al país a la vanguardia en investigación aplicada en el sector energético a nivel mundial.

El CEMIE-Sol inició operaciones en marzo de 2014 y tendrá una duración de 4 años, con el objetivo de impulsar la generación de productos y/o servicios comercializables sobre una base de innovación sólida, la creación de capacidades de emprendimiento en la industria solar en México desde una edad temprana, la generación de conocimiento sostenido y ascendente, la generación de talento de clase mundial, la promoción del uso estratégico de la tecnología solar para su apropiamiento y aprovechamiento social, entre otros.

El CEMIE-Sol cuenta con proyectos estratégicos los cuales entregarán resultados finales en marzo de 2018, entre los cuales se encuentran 5 proyectos que son dirigidos al aprovechamiento de la energía solar térmica en procesos industriales:

- + Desarrollo de tanques de almacenamiento de energía solar térmica
- + Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con energía solar
- + Laboratorio de pruebas para baja y media temperatura
- + Laboratorio para el diseño e integración de sistemas termosolares asistido por computadora
- + Materiales selectivos y reflejantes para sistemas de conversión de energía solar en energía térmica

Como parte de los esfuerzos que realizan investigadores y científicos mexicanos para explotar el potencial solar con el que cuenta el país, se han instalado 2 grandes laboratorios de pruebas de concentración solar que cuentan con diversas plantas, campos e instalaciones experimentales en los estados de Aguascalientes, Sonora y Morelos:

- + Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar
- + Centro de Tecnologías de Concentración Solar, del Centro de Investigación en Óptica (CIO) de CONACyT

El objetivo de estas grandes instalaciones es desarrollar recursos humanos y tecnología propia de concentración solar para solucionar diferentes necesidades sociales, como generar energía eléctrica, generación de nuevos combustibles como el hidrógeno, degradar contaminantes en plantas solares de tratamiento de agua y construir sistemas de calentamiento de agua para industrias y unidades habitacionales.

Además de los proyectos que se desarrollan bajo el marco del CEMIE-Sol, el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL, antes Instituto de Investigaciones Eléctricas), ha desarrollado y patentado tecnología solar de concentración de tipo cilíndrico-parabólico con seguimiento automático, la cual ha sido transferida bajo licencia a la empresa mexicana Sistemas de Energía Alternativa (SEA) para su fabricación y comercialización en el mercado nacional.

Adicionalmente, la Red de Energía Solar de CONACyT cuenta con un grupo de interés de energía fototérmica para la industria, el cual ha emprendido en octubre de 2016, un ejercicio de intercambio entre más de 12 universidades y centros de investigación, los cuales han identificado 15 proyectos de colaboración entre instituciones mexicanas para acelerar el desarrollo tecnológico entre el sector académico y la industria. Entre estos proyectos se pretende enfocar esfuerzos en las siguientes temáticas:

- + Evaluación de recurso solar o prototipos
- + Desarrollo de tecnologías fototérmicas de concentración o aplicaciones en procesos industriales para generación de calor

- ✦ Proyectos en fase pre-comercial que pueden entrar al mercado

Todos estos proyectos estratégicos de investigación básica y desarrollo aplicado, representan una masa crítica importante para impulsar el desarrollo tecnológico e industrial que se traducirá en impactos en el corto y mediano plazo para los usuarios finales.

Para capitalizar estos esfuerzos, aún se requiere fortalecer los instrumentos de vinculación entre la industria y la academia, que permitan apoyar diferentes etapas en toda la cadena de valor en el desarrollo de proyectos termosolares.

3.1.3 ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD EN CALENTADORES SOLARES DE AGUA

Desarrollar un mercado competitivo de cualquier tecnología, como el de los sistemas solares térmicos con aplicaciones industriales, depende en gran medida de proporcionar los servicios y estándares básicos que aseguren la calidad tanto en los equipos como en la instalación de estos sistemas. En este sentido, el desarrollo de la Infraestructura de la Calidad (IC) fomenta el cumplimiento de estos elementos.

La IC es un sistema complejo basado en un marco institucional y normativo, está orientado a cimentar la confianza en nuevas tecnologías a través del aseguramiento de la calidad, la seguridad y la confiabilidad. La IC está conformada por diferentes bloques que operan en distintos niveles de la cadena de valor. Los cinco elementos clave para fomentar la IC son:

- ✦ **METROLOGÍA:** Tiene el objetivo de salvaguardar la integridad y consistencia de las mediciones realizadas por empresas o laboratorios además de proveer la base de la consistencia de calidad entre fabricantes. Asegura la trazabilidad a través de la emisión de distintos patrones, mismos que son utilizados para la calibración de equipos de medición utilizados en los laboratorios de prueba.
- ✦ **NORMALIZACIÓN:** Es el conjunto de normas que regulan la uniformidad en procesos, servicios, sistemas o metodologías. A lo largo de la cadena de valor, la normalización incide directamente en laboratorios de pruebas y es un requisito para la certificación de la calidad en los productos.
- ✦ **CERTIFICACIÓN:** Los organismos de certificación tienen la función principal de validar la calidad y conformidad de productos y servicios. Para la certificación se involucra a unidades y especialistas de verificación, laboratorios de ensayo y otros organismos de certificación. Igual que en otros niveles de la IC, es importante que estas entidades sean independientes entre sí para garantizar la imparcialidad del proceso.
- ✦ **ACREDITACIÓN:** Provee la garantía de que los laboratorios de prueba, organismos de certificación y las unidades de verificación poseen las competencias necesarias para asegurar el cumplimiento de los estándares, a través de los procesos y metodologías adecuadas.
- ✦ **EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD:** Este aspecto, como el último eslabón de la cadena, engloba los procesos utilizados para determinar el grado de implementación y cumplimiento de las normas establecidas, así como de la conformidad de las mismas con otros estándares o sistemas de estandarización (GIZ, 2016b).

En el contexto amplio de la Infraestructura de la Calidad para colectores solares en México, hasta ahora no se encuentra suficientemente bien establecida. Principalmente porque se carece de certificaciones obligatorias de equipos y sistemas de sistemas solares térmicos aplicados para la producción de calor en procesos industriales, además de la falta de acreditación de laboratorios de pruebas y organismos de acreditación de los servicios ofrecidos por dichos laboratorios.

Para la promoción de sistemas solares en procesos industriales es posible, aunque solo en cierta medida, aprovechar los avances y la experiencia previamente desarrollados en materia de IC de calentadores solares aplicados en el sector

²³ Una descripción detallada de la situación actual de la IC tanto en energías renovables (calentadores solares y sistemas fotovoltaicos) como en eficiencia energética (iluminación LED) en México se encuentra en (Campos, 2016).

de la vivienda²³. En el tema de normalización a pesar de que actualmente no existe una Norma Oficial Mexicana (NOM) de carácter obligatorio en todo el país, hay cuatro normas mexicanas (NMX) vigentes y de carácter voluntario aplicables a métodos de rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares, así como a su instalación.

1. NMX-ES-001-NORMEX-2005. RENDIMIENTO TÉRMICO Y FUNCIONALIDAD DE COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA. MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO.

Esta norma tiene como objetivo establecer los métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico y las características de funcionalidad de los colectores solares que utilizan agua como fluido de trabajo, comercializados en México. Aplica a los colectores que proporcionen únicamente agua caliente en fase líquida. Las pruebas descritas en esta norma se aplican solo a la determinación de las características de colectores solares planos metálicos y de plástico, y colectores de tubos evacuados.

Esta norma se encuentra en proceso de modificación para actualizarla de acuerdo con la Norma Internacional ISO 9806:2013. Los trabajos se realizan en el marco del Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar (NESO-13), inscrito en el Programa Nacional de Normalización 2017. Se tiene previsto que el proceso de actualización esté concluido en diciembre de 2018.

2. NMX-ES-002-NORMEX-2007. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA.

Presenta la terminología y recopila la definición de los conceptos más usados en el campo de la investigación y la tecnología solar con la finalidad de homogenizar el lenguaje en los ámbitos científicos, técnicos y comerciales.

3. NMX-ES-003-NORMEX-2007. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS, PARA CALENTAMIENTO DE AGUA.

Tiene como objetivo fijar las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones de sistemas para calentamiento solar de agua, especificando los requisitos de durabilidad, confiabilidad y seguridad.

4. NMX-ES-004-NORMEX-2010. EVALUACIÓN TÉRMICA DE SISTEMAS SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA – MÉTODO DE ENSAYO (EN PROCESO DE REVISIÓN).

Establece el método de ensayo (prueba) para evaluar y comparar el comportamiento térmico de sistemas de calentamiento de agua solares, principalmente para uso doméstico hasta una capacidad máxima de 500 litros y hasta una temperatura máxima de 90 °C como dominio de temperaturas de agua caliente.

La norma aplica a los sistemas solares domésticos para el calentamiento de agua que funcionan mediante:

- a) Circulación natural o termosifónicos; y
- b) Circulación forzada.

Los cuales pueden funcionar a partir de una o más de las siguientes tecnologías:

- a) Colectores solares planos (CP);
- b) Autocontenidos;
- c) Colectores de tubos evacuados (CTE) con o sin tubos de calor (heat pipe) y con o sin superficies reflejantes;
- d) Colectores con concentradores tipo parabólico compuesto (CPC).

Esta prueba no puede ser aplicada a los siguientes sistemas solares domésticos para el calentamiento de agua:

- a) Colectores solares con sistemas de seguimiento;
- b) Sistemas que contengan más de un tanque térmico de almacenamiento.

Asimismo, como parte de los trabajos que se llevan a cabo en el marco del Comité NESO-13, se tiene previsto desarrollar nuevos temas y normas durante el periodo de enero a diciembre de 2017, los cuales tienen impactos en el desarrollo del mercado de la energía solar para procesos industriales:

+ SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS Y SUS COMPONENTES DE INSTALACIONES A MEDIDA.

Objetivo y justificación: Elaborar una Norma Mexicana que establezca las especificaciones generales para sistemas solares térmicos a medida (sobre diseño), las especificaciones para el termo tanque, el sistema de control y otros componentes (como el intercambiador térmico y bombas) así como las especificaciones para el método

de simulación para determinar el rendimiento anual. Con lo anterior, se podría garantizar la calidad de sistemas que soliciten otorgamiento de incentivos y apoyos públicos de programas para los sectores industria, servicios y agro negocios.

✦ ENERGÍA SOLAR – CALENTADORES SOLARES – ESPECIFICACIONES MÍNIMAS PARA LA INSTALACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO SOLAR.

Objetivo y justificación: Elaborar una Norma Mexicana que establezca las especificaciones mínimas de instalación y operación que deben cumplir los sistemas de calentamiento solar. Es necesario contar con una Norma Mexicana que guíe a los instaladores para que su trabajo sea apegado a la normatividad y los materiales empleados en la instalación cumplan con las especificaciones requeridas y el dispositivo cubra las expectativas del comprador.

El PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) y la GIZ, por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), desde 2013 han implementado actividades de capacitación y consultoría para el fortalecimiento de la Infraestructura de la Calidad para el área de calentadores solares, así como acciones para reforzar la capacidad técnica e innovación tecnológica de los laboratorios de pruebas que operan en el país.

Hasta ahora, en el marco del proyecto “Fortalecimiento de la Infraestructura de la Calidad para Energías Renovables y Eficiencia Energética en México” del PTB se ha brindado capacitación al CENAM (mediante estancias de entrenamiento en los laboratorios del PTB) en cuanto a referencias primarias para radiación solar. Asimismo, se han llevado a cabo diplomados y desarrollado competencias respecto a los requisitos que deben seguir los Laboratorios de Ensayos, así como sobre la metrología para la medición de magnitudes críticas que intervienen durante la realización de los ensayos o pruebas.

Con el apoyo patrocinado por el PTB y por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el CENAM desarrolló un Diplomado en Metrología y Gestión de la Calidad para dar entrenamiento a los laboratorios de ensayos interesados en fortalecerse y acreditarse para brindar servicios de ensayo conforme a norma de calentadores solares de agua y sistemas asociados.

Actualmente en México no existen normas obligatorias para los sistemas solares térmicos para la producción de calor de temperatura baja y media en procesos industriales, sin embargo, existen instituciones como el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y la Conuee que implementan mecanismos de apoyo para la adquisición e instalación de sistemas solares térmicos en el sector de agro negocios y hoteles. En ambos casos estas instituciones han desarrollado y adaptado protocolos y especificaciones técnicas para el dimensionamiento, instalación y puesta en marcha de este tipo de sistemas para asegurar su calidad y seguridad.

Dichas especificaciones, eventualmente, podrían servir como referencia para el desarrollo de normas y regulaciones en el contexto nacional, aprovechando así la experiencia obtenida en esta materia.

Dentro del proceso de aseguramiento de la calidad, en el último eslabón de la cadena se encuentra la correcta instalación y dimensionamiento de los sistemas solares térmicos. En México se han documentado áreas de oportunidad y obtenido lecciones aprendidas en el sector de la vivienda principalmente. Por ello, en el año 2012 la Secretaría de Energía con el acompañamiento de la GIZ establecieron el Comité de Gestión por Competencias de Energía Renovable y Eficiencia Energética (CGC EREE), con la activa participación del sector público, privado y académico. El CGC EREE tiene el objetivo de generar capital humano calificado en energía renovable y eficiencia energética mediante el desarrollo de estándares de competencia (EC) y la certificación de mujeres y hombres bajo dichos estándares.

Actualmente se han desarrollado 9 Estándares de Competencia, y se prevé el desarrollo de 2 más, enfocados a energías renovables (solar térmica y solar fotovoltaica).

Hasta diciembre de 2016, se habían certificado 1,392 mujeres y hombres bajo dichos Estándares, de los cuales el 88% ha sido bajo los Estándares EC0325 y EC0586 que se enfocan en la instalación de sistemas solares térmicos (termosifónicos y de circulación forzada) y sistemas fotovoltaicos. En la [Tabla 8](#) se muestran los Estándares que hasta ahora se han elaborado en México en materia de eficiencia energética y energías renovables.

Tabla 8. Estándares de Competencia desarrollados

EFICIENCIA ENERGÉTICA	ENERGÍA RENOVABLE
<p>EC0412. Gestión de eficiencia energética en la organización</p> <p>EC0413. Gestión del mantenimiento al sistema energético de inmuebles</p> <p>EC0414. Instalación de sistemas de iluminación eficientes</p> <p>EC0416. Operación del mantenimiento al sistema energético de inmuebles</p> <p>EC0431. Promoción del ahorro en el desempeño integral de los sistemas energéticos de la vivienda*</p> <p>* Creado en conjunto con el Comité de Gestión del INFONAVIT</p>	<p>EC0325. Instalación de sistemas de calentamiento solar de agua termosifónico en vivienda sustentable*</p> <p>EC0473. Instalación del sistema de calentamiento solar de agua de circulación forzada con termotanque</p> <p>EC0530. Mantenimiento del aerogenerador</p> <p>EC0586. Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria**</p> <p>* Creado en conjunto con el Comité de Gestión del INFONAVIT</p> <p>** Creado en conjunto con el Comité de Gestión del INFONAVIT y con el Comité de Gestión de Baja California</p>
	<p>Estándares en desarrollo:</p> <ul style="list-style-type: none"> + Diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos + Diseño de sistemas de calentamiento solar de agua

El CGC EREE está contemplado en el Programa Especial de la Transición Energética (SENER) como medida para impulsar el desarrollo de talento mexicano en el sector energético, y también está en consonancia con el Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética impulsado por SENER, SEP y CONACyT; específicamente con su objetivo de fomentar la oferta de programas de adiestramiento y certificación de competencias de manera conjunta con el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

Los esfuerzos que hasta ahora se han realizado para la formación de recursos humanos es limitada tomando en cuenta el potencial de aprovechamiento del calor solar con el que cuenta en país. Por lo cual es deseable desarrollar programas de atracción e inserción de capital humano avanzado, cuyo objetivo sea aumentar las capacidades académicas, científicas y tecnológicas de las instituciones nacionales.



3.2 PROYECTOS DE CALOR SOLAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES EN OPERACIÓN COMERCIAL EN MÉXICO

Actualmente en México no se cuenta con un marco normativo específico para el diseño, instalación y puesta en marcha de proyectos solares térmicos aplicados en procesos industriales, sin embargo, ya existe experiencia documentada de la implementación de este tipo de proyectos desde el año 2001. Desde la perspectiva de toda la matriz energética del país, el Balance Nacional de Energía reporta un consumo de 0.617 PJ de energía solar en el sector industrial durante 2016, sin embargo, al estar clasificado dentro del subsector industrial denominado "Otras ramas" se desconoce el tipo de industria específica en las que fueron implementados estos sistemas solares.

Existen varios ejemplos de proyectos de energía solar térmica aplicados en diversos procesos y tipos de industrias. De acuerdo con la base de datos de proyectos de calor solar para procesos industriales que ha sido creado en el marco del Grupo de Trabajo 49/IV de la Agencia Internacional de Energía, en México se han instalado 64 proyectos solares térmicos en diferentes subsectores industriales entre el periodo 2001-2017, como son:

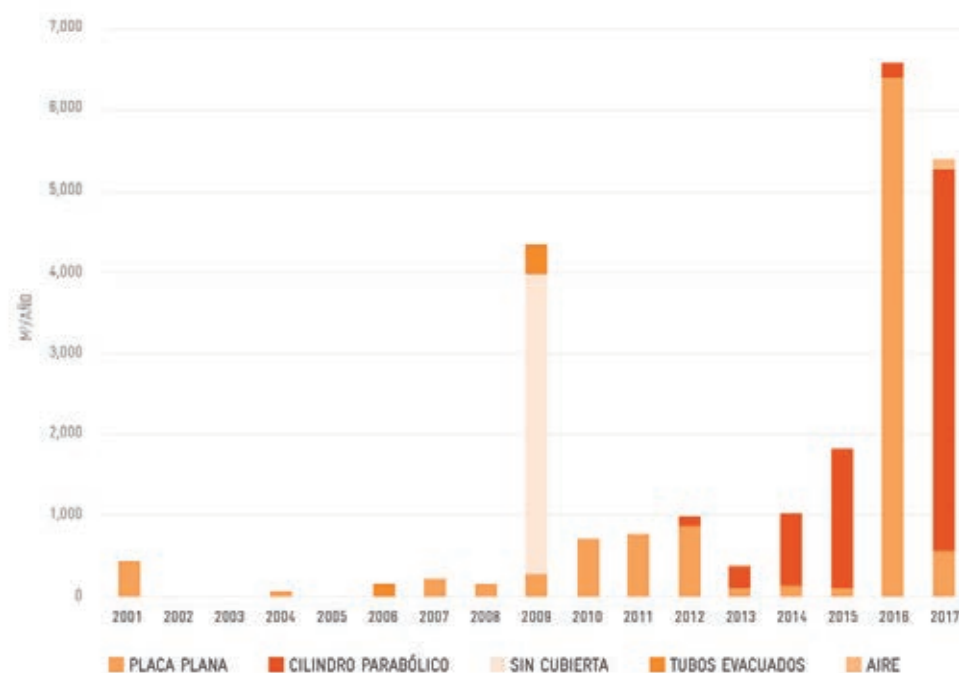
- + Mina de cobre
- + Elaboración de productos alimenticios
- + Fabricación de productos lácteos
- + Fabricación de alimentos preparados para animales
- + Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos
- + Elaboración de bebidas
- + Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos
- + Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas
- + Molino de maíz y fabricación de tortilla
- + Agricultura, silvicultura y pesca
- + Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo
- + Fabricación de harina y productos de panadería
- + Agricultura (calefacción de invernaderos)
- + Fabricación de sustancias y productos químicos (lubricantes)
- + Actividades profesionales, científicas y técnicas

El total de estos sistemas alcanza una capacidad instalada de 13,512 kW_t equivalentes a 23,049 m² de área bruta de colectores solares instalados, donde destacan los sistemas solares con colectores solares planos con 47% de la capacidad térmica instalada, seguido de colectores cilíndrico-parabólicos con 34%, colectores sin cubierta con el 16%, y el resto se distribuye en sistemas con colectores de tubos evacuados y de aire. A partir del año 2012, la instalación de sistemas solares con colectores de concentración cilíndrico-parabólicos inició su despliegue en el mercado mexicano y hasta la fecha se encuentran reportados al menos 32 proyectos instalados en diversos subsectores industriales.

De acuerdo con la información reportada de proyectos instalados, los rangos de temperatura del calor solar generado oscilan entre los 20 °C y los 100 °C. En términos generales, la fracción solar (porcentaje de la demanda de calor que es posible abastecer mediante sistema solares) para los proyectos que han reportado éste rubro de información, ronda entre el 20% y el 80%.

En total, 18 proyectos (28% del total de proyectos) fueron realizados con el apoyo a fondo perdido de hasta el 50% del total de la inversión, a través de los programas de fomento a las energías renovables en el sector agropecuario que implementa el Fideicomiso de Riesgo Compartido con recursos económicos del Gobierno Federal y recursos del Banco Mundial.

Gráfica 14. Área de colectores instalados (área bruta de captación) anualmente en el sector industrial por tipo de tecnología

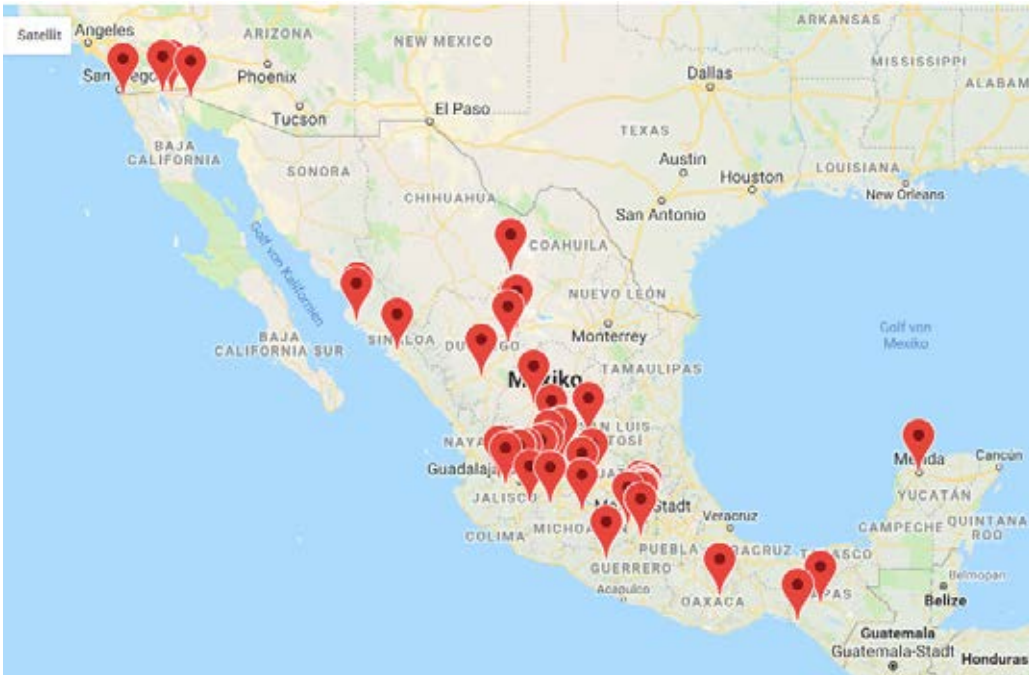


Fuente: (AEE INTEC, 2018)

Los proyectos a los que se hace referencia anteriormente, corresponden únicamente a los reportados por las empresas mexicanas Módulo Solar e Inventive Power, así como por la empresa danesa Arcon-Sunmark; sin embargo, no representa al total de proyectos instalados en el país por parte de otras empresas. De acuerdo con la plataforma de la IEA, entre 2001 a 2017 la instalación de proyectos fue realizada en 18 estados del país²⁴. En [Figura 9](#) se muestra la distribución geográfica de proyectos reportados en México.

²⁴ Aguascalientes, Baja California, Chiapas, Ciudad de México, Coahuila, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Yucatán y Zacatecas.

Figura 9. Proyectos solares térmicos para calor de proceso en México



Fuente: (AEE INTEC, 2018)

Las aplicaciones del calor solar en los procesos industriales en México son diversas, desde el calentamiento de agua para utilizarse directamente en los procesos o ser introducida en las calderas para generar vapor, o procesos de enfriamiento. También en la agroindustria se registran aplicaciones para la calefacción de espacios en invernaderos, deshidratación de alimentos, entre otros (Gráfica 15).

Gráfica 15. Distribución de números de proyecto por tipo de aplicación



Fuente: Elaboración propia a partir de información disponible en <http://ship-plants.info>

En la [Tabla 9](#) se reúnen algunos de los datos técnicos más generales de los 64 proyectos solares antes referidos, así como los montos totales de inversión reportados.

Tabla 9. Sistemas solares térmicos en aplicaciones industriales

DESARROLLADOR	SUBSECTOR	AÑO	ESTADO	TECNOLOGÍA (TIPO DE COLECTOR)
Módulo Solar	Manufactura de textiles	2001	Mor.	Placa plana
Módulo Solar	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	2004	CDMX	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2006	Coah.	Tubos evacuados
Módulo Solar	Fabricación de productos lácteos	2006	Dgo.	Tubos evacuados
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2007	CDMX	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2008	CDMX	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2009	Dgo.	Tubos evacuados
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2009	CDMX	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración de bebidas	2009	Edo. Mex.	Placa plana
Módulo Solar	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2009	CDMX	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2009	Edo. Mex.	Sin cubierta
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2009	Sin.	Tubos evacuados
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2009	Coah.	Tubos evacuados
Módulo Solar	Fabricación de harina y productos de panadería	2010	CDMX	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2010	Chis.	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2011	Edo. Mex.	Placa plana
Módulo Solar	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2011	Mor.	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2011	Son.	Placa plana
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2012	Mich.	Cilíndrico-parabólico
Módulo Solar	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2012	Mor.	Placa plana
Módulo Solar	Minería	2012	Dgo.	Placa plana
Inventive Power	Agricultura (invernaderos)	2013	Jal.	Cilíndrico -parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2013	Dgo.	Cilíndrico -parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2013	Jal.	Cilíndrico -parabólico
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2013	Coah.	Placa plana
Inventive Power	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2014	Jal.	Cilíndrico -parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Gto.	Cilíndrico -parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Jal.	Cilíndrico -parabólico
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2014	Sin.	Cilíndrico -parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Chis.	Cilíndrico -parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Jal.	Cilíndrico -parabólico
Módulo Solar	Molino de maíz y fabricación de tortilla	2014	Edo. Mex.	Placa plana

Les instalados en México reportados por la IEA (SHIP plants)

RANGO DE TEMP. (PARA PROCESO)	RANGO DE TEMP. (SIST. SOLR)	ÁREA DE CAPTACIÓN BRUTA (M ²)	ÁREA DE CAPTACIÓN APERTURA (M ²)	CAPACIDAD TÉRMICA [kW _t]	INVERSIÓN [EUROS]
55/85	50/90	450	415	315	91,000
70/85	60/90	64	57	44	14,000
65/80	55/90	96	75	67	43,000
60/70	50/80	68	55	47	27,000
60/80	55/85	232	220	162	60,000
60/70	55/75	164	145	114	39,500
65/80	55/85	99	80	69	39,000
60/70	50/75	64	57	45	14,500
60/70	50/75	56	50	39	12,500
55/75	50/80	154	138	107	37,000
37	40/45	3,700	3,560	2,590	270,000
70/80	60/90	195	155	136	75,000
60/80	50/90	72	64	50	26,000
55/85	50/90	72	65	50	19,000
90	65/85	650	620	455	160,000
60/70	55/75	172	155	120	40,000
70/80	50/85	360	340	252	90,000
55/75	50/80	240	217	168	43,000
N.D.	20/95	132	132	74	44,200
60/75	60/90	525	500	367	130,000
60/80	55/85	330	297	231	80,850
N.D.	20/80	66	N.D.	36	20,000
N.D.	20/95	132	N.D.	92.4	40,000
N.D.	18.5/80-100	66	N.D.	46.2	23,039
65/75	60/80	110	100	77	31,000
55/75	N.D.	66	66	31.7	28,038
N.D.	60/95	40	39.6	22.2	18,000
19/92	N.D.	132	132	62.7	32,677
N.D.	40/95	178.2	178.2	97.2	58,000
90	80/95	224.5	224.5	126	100,000
90	80/95	245	245	137	130,000
65/85	55/90	125	113	87.5	29,250

DESARROLLADOR	SUBSECTOR	AÑO	ESTADO	TECNOLOGÍA (TIPO DE COLECTOR)
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2015	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2015	Mich.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de productos alimenticios	2015	S.L.P.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2015	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2015	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2015	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2015	Ags.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2015	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2015	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2015	B.C.	Placa plana
Módulo Solar	Fabricación de sustancias y productos químicos (lubricantes)	2015	CDMX	Placa plana
Arcon-Sunmark	Mina de cobre	2016	Son.	Placa plana
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2016	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Actividades profesionales, científicas y técnicas	2016	CDMX	Cilíndrico –parabólico
Módulo Solar	Manufactura	2016	Mor.	Placa plana
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2017	B.C.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2017	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2017	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2017	Oax.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2017	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de productos alimenticios	2017	Mich.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de productos alimenticios	2017	Yuc.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de productos alimenticios	2017	Sin.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2017	Jal.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de productos alimenticios	2017	Gto.	Cilíndrico –parabólico
Inventive Power	Elaboración de productos alimenticios	2017	Chis.	Cilíndrico –parabólico
Módulo Solar	Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas	2017	Zac.	Aire
Módulo Solar	Agricultura, silvicultura y pesca	2017	Zac.	Placa plana
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2017	B.C.	Placa plana
Módulo Solar	Minería	2017	Gro.	Placa plana
Módulo Solar	Minería	2017	Gro.	Placa plana
Módulo Solar	Minería	2017	Gro.	Placa plana
TOTAL				

Fuente: (AEE)

RANGO DE TEMP. (PARA PROCESO)	RANGO DE TEMP. (SIST. SOLR)	ÁREA DE CAPTACIÓN BRUTA (M ²)	ÁREA DE CAPTACIÓN APERTURA (M ²)	CAPACIDAD TÉRMICA [kW _t]	INVERSIÓN [EUROS]
95	80/95	264	264	148	115,000
25/95	N.D.	264	264	126	68,889
25/80	N.D.	80	264	118	84,307
20/70	N.D.	46.2	46.2	22.2	13,281
19/92	N.D.	197	197	94.5	46,144
19/99	N.D.	198	198	94.6	59,403
20/95	N.D.	99	99	42	28,046
18/95	N.D.	132	132	43.4	44,145
85	70/95	430	430	240	160,000
65/70	65/85	65	60	45.5	16,800
60/75	55/80	50	45	35	13,000
N.D.	N.D.	6,270	N.D.	4,400.00	N.D.
20/90	N.D.	132	132	59.9	36,894
16/90	N.D.	62.7	62.7	27.1	22,928
60/80	50/85	110	99	77	21,780
20/60	N.D.	412.5	412.5	179.9	125,686
20/90	N.D.	33	33	15	24,131
20/94	N.D.	462	462	202.5	118,414
21/90	N.D.	326.7	326.7	136.8	109,007
30/90	N.D.	264	264	123.6	94,736
25/118	N.D.	742.5	297	112.85	110,435
35/165	30/200	529.2	176.8	77.9	81,349
25/95	N.D.	660	264	104.81	117,365
21/95	N.D.	396	158.4	64.83	59,449
55/110	N.D.	693	227.2	92.61	103,491
20/80	N.D.	165	66	35.34	22,706
55/120	55/130	120	110	84	24,000
70/85	50/85	125	113	87	30,370
55/85	50/90	175	158	122.5	49,000
60/70	50/75	60	54	42	15,100
65/75	60/80	160	144	112	39,500
65/85	60/90	45	40	31.5	11,500
		23,049	14,095	13,516	3,732,410

INTEC, 2018)

Como es posible observar en la [Tabla 9](#), el sector industrial y los propios de integradores sistemas termosolares en México han incursionado en la instalación de proyectos para generar calor para procesos desde hace más de 15 años. Cada vez más, la industria nacional invierte en este tipo de tecnologías como parte de sus políticas de sustentabilidad ambiental y eficiencia económica. Ejemplos de estos proyectos pueden ser consultados en el ANEXO I.

Además de los proveedores antes mencionados, en el segmento de proveedores de sistemas solares para generar calor de procesos se han identificado al menos 12 empresas más en México: Robert Bosch México, Energías Saubere, México Solar, Sistemas de Energía Alternativa, Calentadores Solares Bicentenario (Solarqro), Investti, Ausgreen Energía, Sistemas de Ecotecnia Ambientales, Ingeniería y Servicios Agbel, Tecnosol, Jorgensen y SAVO-SOLAR.

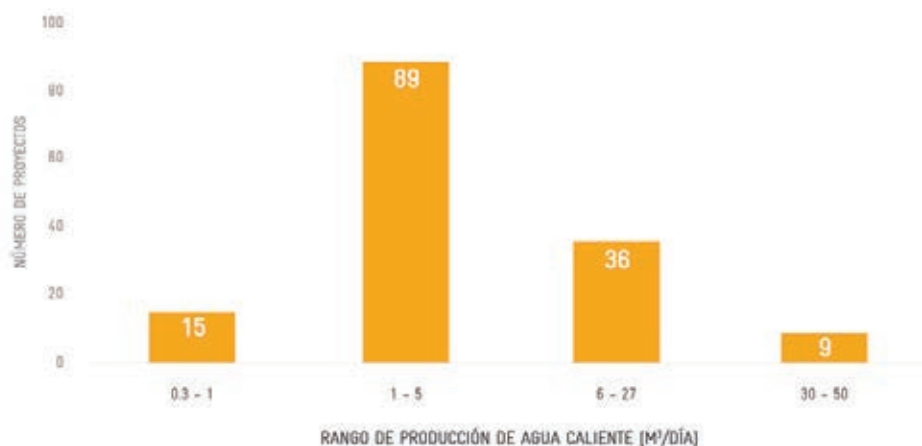
De los proyectos antes mencionados, 18 de ellos han sido apoyados por FIRCO, sin embargo, no representa el número total de proyectos solares térmicos apoyador por esta institución a lo largo de los años.

En total, FIRCO ha apoyado 149 proyectos en agro negocios entre los años 2008 y 2015, distribuidos en 24 estados del país, de los cuales 86% fueron con colectores de tubos evacuados, 13.4% con colectores planos, y el resto son sistemas de concentración solar cilíndrico-parabólicos.

Estos sistemas solares térmicos han sido instalados principalmente en rastros tipo inspección federal²⁵ (110 sistemas), el resto fue instalado en agroindustrias, granjas acuícolas y porcinas, establos, invernaderos y desarrollos turísticos rurales.

La capacidad de generar agua caliente de los proyectos antes mencionados se ha concentrado principalmente en aplicaciones relativamente pequeñas (de 1 a 5 m³ de agua caliente) en relación con los requerimientos de calor de grandes instalaciones industriales, como por ejemplo en el proyecto instalado en la mina de cobre "La Parreña", ubicado en el estado de Sonora, que cuenta con 660 m³ de almacenamiento de agua caliente empleada en el proceso de refinado electrolítico que requiere la mina.

Gráfica 16. Distribución de número de proyectos por rango de producción de agua caliente diaria



Fuente: (FIRCO, 2017)

²⁵ Establecimiento Tipo Inspección Federal (TIF) es una instalación de sacrificio de animales de abasto, frigoríficos e industrializadores de productos y subproductos cárnicos.

Tabla 10. Combustibles desplazados y reducción de emisiones por sistemas solares térmicos apoyados por FIRCO

TIPO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD DESPLAZADA / EVITADA
Gas LP	1,578,633 litros
Combustóleo	413.161 litros
Diesel	215,274 litros
Gas natural	79,389 m ³
Reducción de emisiones	4,825 tCO ₂

Fuente: (FIRCO, 2017)

Los proyectos apoyados por FIRCO han sentado un precedente y experiencia importantes en México, respecto a la promoción de estas aplicaciones y aspectos técnicos de dimensionamiento, especificaciones para la instalación y puesta en marcha.

Cabe señalar que la información del número de proyectos instalados para generar calor solar en procesos aún es limitada, y no refleja el universo total de casos en el país.

En este sentido, el estado actual y crecimiento del mercado solar en este segmento, conlleva una serie de requerimientos de información por parte de distintos actores clave. Sumado a ello, la necesidad de disponer de conocimiento adquiridos y las lecciones aprendidas por experiencias anteriores.



Fuente: Solar Heat Europe

3.3 PROYECTOS DEMOSTRATIVOS DE CALOR SOLAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES Y OTROS SECTORES

Las universidades y centros de investigación nacionales realizan esfuerzos importantes en el desarrollo de proyectos de energía solar (fotovoltaicos y fototérmicos), para demostrar que el uso de estas tecnologías es viable técnica y económicamente a una escala comercial y pre-comercial.

PLANTA SOLAR DESHIDRATADORA DE CHILES EN ZACATECAS

Con el apoyo del CONACyT, a través del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT), diversos centros de investigaciones mexicanos implementan el proyecto FORDECYT 190603: “Estudio sobre el uso de la energía solar en aplicaciones residenciales, industriales y comerciales en diferentes estados del país”. En el marco de dicho proyecto se han diseñado, equipado, instrumentado y puesto en marcha 5 plantas piloto de aprovechamiento de energía solar térmica para suministrar calor en diferentes sectores: albercas, hoteles, hospitales y una planta deshidratadora de chile.

Uno de los casos de referencia que puede ser replicable en el sector industrial en México es una planta piloto de deshidratación de productos agropecuarios, la cual ha sido desarrollada en conjunto por el IER, la Secretaría del Campo del Estado de Zacatecas, el INEEL, la Universidad Autónoma de Zacatecas y la Universidad Autónoma Chapingo.

El suministro de la energía térmica requerida para el proceso de secado proviene de dos fuentes: la energía solar térmica y de un sistema de gas LP como respaldo. Las tecnologías termosolares utilizadas se muestran en las [Fotografía 1](#), [Fotografía 2](#) y [Fotografía 3](#):

- + Un sistema de 40 captadores solares planos de alta eficiencia para calentamiento de agua con un área de 100 m².
- + Un sistema de 48 colectores solares para el calentamiento directo de aire diseñados por el IER con un área de 120 m².
- + Un sistema de 3 módulos de colectores de concentración solar cilíndrico-parabólicos para calentamiento de agua diseñados por el INEEL con un área de 120 m².

[Fotografía 1](#). Banco de colectores solares planos



Fuente: (IER, 2017)

[Fotografía 2](#). Banco de colectores solares para el calentamiento directo de aire



Fuente: (IER, 2017)

Fotografía 3. Sistema solar térmico con colectores de concentración solar cilíndrico-parabólicos



Fuente: (IER, 2017)

La integración de las diferentes tecnologías ofrece una generación de energía térmica versátil, ya que los sistemas pueden operar de manera independiente o híbrida. Las tecnologías utilizadas en este proyecto piloto son de manufactura 100% nacional.

PLANTA PILOTO DE ENFRIAMIENTO SOLAR/ AIRE ACONDICIONADO

Otras aplicaciones que pueden ser aprovechadas por el sector industrial son las relacionadas con la refrigeración para conservación de alimentos y aire acondicionado.

El Fondo de Sustentabilidad Energética (FSE) apoyó con recursos económicos la ejecución del proyecto *"Desarrollo de sistemas de aire acondicionado solar para zonas costeras de México"*, el cual tuvo el objetivo, entre otras actividades, de desarrollar prototipos nacionales e implementar un proyecto demostrativo innovador para probar la factibilidad técnica, económica y social.

Actualmente ya se cuenta con una planta piloto instalada en el Instituto Tecnológico de Culiacán en colaboración con el IER, la cual está siendo operada y probada para acondicionamiento de ambientes con el fin de llevar la tecnología a una escala pre-comercial o comercial en un plazo aproximado de 5 años.

PLANTA PILOTO DE ENFRIAMIENTO SOLAR

Otro caso de referencia se desarrolla en el marco del CEMIE-Sol. Seis instituciones mexicanas (UABC, ITESM, UAEM, IER, CIATEQ y Módulo Solar) desarrollan el proyecto denominado *"Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con energía solar"*. El proyecto desarrollará conceptos innovadores para probar la factibilidad técnica de un prototipo de sistema de enfriamiento operado con energía solar a través de investigación aplicada; así como, análisis de factibilidad económica y una estrategia de transferencia de tecnología del prototipo de enfriamiento.

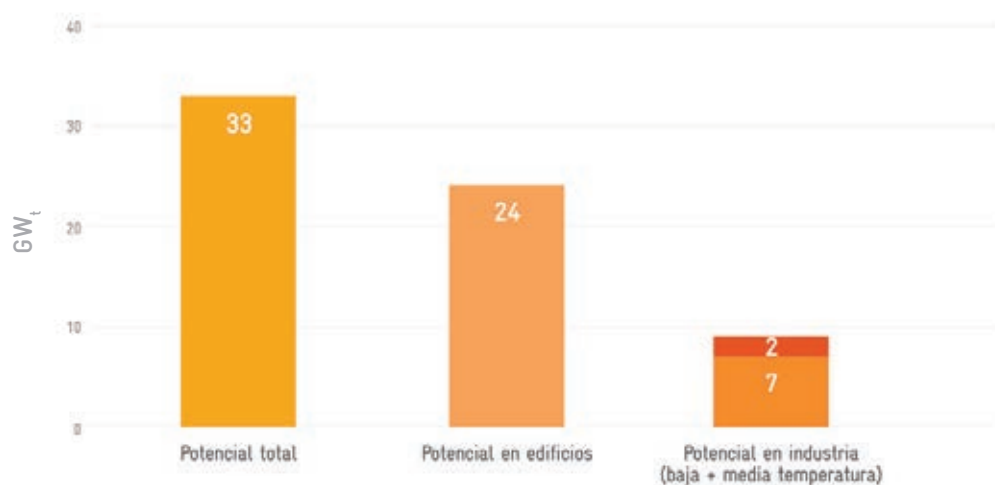


3.4 POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE CALOR SOLAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES

De acuerdo con IRENA y SENER (IRENA, 2015b), se estima que el potencial realista y económicamente rentable de aprovechamiento de energía solar térmica en México es de 33 GW_t de nueva capacidad entre el periodo 2010-2030. De este potencial, 9 GW_t se encuentran en el sector industrial de las manufacturas, dos terceras partes de esta cantidad, aproximadamente 7 GW_t (alrededor de 10 millones de m² de colectores solares) se localizan en el sector de la baja temperatura, en procesos típicos de la industria textil, alimentos y algunos procesos químicos.

El resto del potencial de aprovechamiento de calor solar en la industria (2 GW_t) se encuentra en procesos de media temperatura, donde se requieren sistemas de concentración, principalmente en la fabricación de productos químicos. Bajo esta perspectiva, hacia el año 2030 el aprovechamiento de la energía solar con aplicaciones térmicas industriales puede aumentar hasta 41 PJ de energía aproximadamente (baja y media temperatura) (Gráfica 17).

Gráfica 17. Potencial de implementación de colectores solares en México al 2030



Fuente: Elaboración propia con datos de (IRENA, 2015b)

Para desarrollar todo el potencial identificado en el sector industrial, se requeriría en promedio de la instalación de 2 GW_t anuales hasta llegar a 2030, esto significa un despliegue de instalación diez veces mayor al observado entre el periodo 2010-2012. A pesar de que actualmente la energía solar térmica es el tercer recurso renovable más utilizado

para la producción de calor después de la madera y bagazo de caña, el despliegue actual de la tecnología sigue siendo bajo. Con el fin de lograr un desarrollo en el largo plazo, en concordancia con los potenciales disponibles, deben tenerse en cuenta sectores hasta ahora desatendidos como lo es el industrial.

El crecimiento en la utilización de sistemas solares térmicos en el sector industrial ha venido creciendo con un ritmo de 13% anual, muy similar al crecimiento global de este sector. De continuar con esta tendencia, hacia 2030 apenas se llegaría a satisfacer el 0.15% de la demanda de energía del sector en ese año, con una generación de 2.9 PJ de energía térmica.

Otras estimaciones establecen que el potencial de utilizar calentadores solares en el sector industrial puede suministrar hasta el 4% de los requerimientos del sector en países con alta irradiación solar, tal es el caso de México. Lo anterior implica que se requiere instalar una superficie de 20.6 millones de m², o bien 14.4 GW_t, lo cual significaría instalar en promedio de 7.5 MW_t de potencia cada uno en 1,925 plantas industriales al año 2030. Asumiendo que México puede incorporarse a esta tendencia mundial, se requeriría de un ritmo de instalación de aproximadamente 1.37 millones de metros cuadrados por año (IRENA, 2014).

Estimaciones más conservadoras establecen un potencial para la instalación de 4.5 GW_t (6.45 millones de m²) de potencia solar térmica en el sector industrial hacia el año 2030, equivalentes a la generación de 24.5 PJ. Esta cantidad equivale a instalar de manera constante 430 mil m² por año entre el 2015 y el 2030.

La penetración de colectores solares en el sector industrial, sobre todo en aplicaciones de baja temperatura, podría ser alcanzable en el mediano plazo si consideramos el volumen anual de instalación que ya reporta el sector residencial en México (352 mil metros cuadrados durante el año 2015), que está soportada en buena medida por la capacidad de manufactura nacional de colectores solares planos.



Fuente: Inventive Power

3.5 BARRERAS IDENTIFICADAS PARA EL DESPLIEGUE DEL CALENTAMIENTO SOLAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES

A nivel internacional, organizaciones como IRENA han identificado cuatro grandes barreras que han frenado el desarrollo de la instalación de sistemas solares térmicos para procesos industriales:

- + Altos costos de los sistemas y de la planificación
- + Ausencia de directrices y herramientas para planificadores e ingenieros
- + Escasez de modelos de negocio
- + Falta de conocimiento entre los clientes potenciales

Aunado a las barreras identificadas por IRENA, la GIZ llevó a cabo en México cuatro foros de intercambio entre el sector privado y académicos para identificar barreras en el despliegue del mercado de sistemas solares en la industria durante el año 2016. De los cuales destacan las siguientes barreras:

- + Falta de información y análisis del mercado potencial: cuantificar demanda/potencial en diferentes rangos de temperatura; clasificar industrias y diferentes procesos en la industria; análisis del costo de la energía térmica por diferentes combustibles versus el costo de energía solar térmica y el potencial de reducción de costos; potencial de reducción de emisiones y contaminantes, especialmente en ciudades; rentabilidad de proyectos considerando beneficios fiscales
- + Poco conocimiento de la tecnología y beneficios económicos por parte de los usuarios finales, de los posibles promotores e incluso por parte de las ingenierías
- + Falta de difusión y comunicación de casos de referencia
- + Falta de monitoreo de los sistemas instalados
- + Faltan casos de referencia documentados en México, especialmente para los sistemas solares de concentración a escala comercial
- + Poca oferta de tecnología y desarrolladores/integradores de proyectos locales
- + Escasez de opciones de financiamiento específicos para sistemas solares térmicos en la industria
- + Falta de colaboración y coordinación estrecha entre las actividades I+D y la industria para desarrollar la tecnología a escala comercial
- + Falta de normas y estándares para la tecnología
- + Falta impulsar la certificación de equipos para el mercado nacional e internacional
- + Se requiere desarrollar más capacidades técnicas para el diseño, integración de sistemas, desarrollo y financiamiento de proyectos
- + Falta una estrategia de información y comunicación para compartir oportunidades y beneficios de los sistemas solares en la industria y en el sector público en general
- + Existen pocas empresas mexicanas que cuentan con experiencia en el diseño y la manufactura de colectores solares de concentración a escala comercial



3.6 MARCO LEGAL E INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA

La creciente preocupación por aprovechar las fuentes renovables para diversificar la matriz energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), precursores del cambio climático global, ha motivado la introducción de nuevas políticas por parte del Gobierno de México para impulsar el aprovechamiento de este tipo de tecnologías y acelerar la transición hacia fuentes más limpias de energía en todos los sectores de consumo.

La reciente Reforma Energética establece metas nacionales de generación de electricidad a partir de energías limpias y eficiencia energética, las cuales contribuirán a alcanzar la meta de reducción de emisiones que el país se ha planteado en el mediano y largo plazo.

- + **GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE ENERGÍAS LIMPIAS:** 35% al 2024; 37.7% al 2030 y 50% de la generación eléctrica total al 2050.
- + **EFICIENCIA ENERGÉTICA:** Reducción de la intensidad energética por consumo nacional para el periodo del 2016-2030 del 1.9%; y del 3.7% para el periodo de 2031-2050, con un promedio de 2.9%.
- + **META DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI:** compromiso de reducir 22% de emisiones al año 2030 respecto a la línea de base (año 2013) de manera no condicionada (alrededor de 210 megatoneladas de GEI).

Hoy en día estas metas se fortalecen con las nuevas leyes que prevén una mejor planeación del sector energético nacional, incorporando acciones específicas para acelerar el aprovechamiento de energías limpias a través de nuevas y mejores estrategias y programas.

Figura 10. Estrategias y programas de la transición energética y cambio climático



Fuente: Elaboración propia

La Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, publicada el 2 de diciembre de 2016, ha establecido indicadores nacionales de participación de energías renovables en la oferta interna bruta de energía, así como una reducción de emisiones de CO₂ en el sector industrial (Figura 11).

Figura 11. Indicadores de la Transición Energética



Fuente: (SENER, 2016b)

En este contexto, la Estrategia reconoce la relevancia del consumo de energía en el sector industrial, así como la importancia de implementar acciones concretas para aumentar la eficiencia y la incorporación de fuentes renovables de energía en uno de los sectores más relevantes de la economía nacional. En particular se han establecido las siguientes acciones directamente vinculadas con el sector industrial:

- + Fomentar la creación de programas de aprovechamiento de la tecnología solar con aplicaciones térmicas en procesos industriales
- + Establecer NOMs para los dispositivos e instalación de sistemas para el aprovechamiento solar con aplicaciones térmicas.
- + Promover el incremento de proveedores de sistemas térmicos solares certificados con aplicaciones industriales.
- + Coordinar la integración de una red para el aprovechamiento de energía solar térmica en procesos industriales que vincule a los principales actores.
- + Desarrollar modelos de negocio que permitan una penetración acelerada de la tecnología solar térmica.
- + Realizar estudios sobre el consumo final de energía en el sector industrial para establecer el potencial técnico y económico de la tecnología solar térmica.

Derivado de la Estrategia, se han revisado y publicado dos Programas Especiales que contemplan la implementación de acciones para promover la energía solar térmica en el ámbito industrial en el corto y mediano plazo (Tabla 11).

Tabla 11. Acciones para promover la energía solar térmica en la industria establecidos en el PETE y PRONASE

PROGRAMA ESPECIAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA (PETE)	PROGRAMA NACIONAL PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA (PRONASE 2014-2018) ²⁶
<p>OBJETIVO 1. Aumentar la capacidad instalada y la generación de energías limpias.</p> <p>Estrategia 1.3 Generar acceso al mercado y financiamiento de energías limpias.</p> <p>Línea de Acción 1.3.6: Fomentar la creación de programas de aprovechamiento de la tecnología solar con aplicaciones térmicas en procesos industriales (Dependencias participantes: SENER, Conuee).</p>	<p>OBJETIVO 1. Diseñar y desarrollar programas y acciones que propicien el uso óptimo de energía en procesos y actividades de la cadena energética nacional.</p> <p>Estrategia 1.2 Incrementar la eficiencia energética en los sectores residencial, comercial y servicios, agropecuario e industrial mediante la sustitución de tecnologías.</p> <p>Línea de Acción 1.2.5: Fortalecer programas de uso de calentadores solares de agua en los sectores de consumo final.</p>

Fuente: Elaboración propia

La Reforma Energética también busca la convergencia de los instrumentos vigentes de sustentabilidad energética y cambio climático (LTE, LIE, LGCC), que abra la oportunidad para implementar acciones conjuntas en el sector industrial que contribuyan a la sustentabilidad y competitividad de este sector, por un lado, y por otro lado que contribuyan a alcanzar los compromisos internacionales de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030.

²⁶ Revisión y actualización publicada el 19 de enero de 2017 en el Diario Oficial de la Federación.





4

ANÁLISIS DE COSTOS



4.1 COSTOS A NIVEL INTERNACIONAL

Las dimensiones de los sistemas solares para aplicaciones industriales conducen a economías de escala y reducción de costos, por lo tanto, en los últimos años los costos de instalación se han vuelto competitivos respecto a las tecnologías convencionales para la generación de calor. Recién entrado el presente siglo, los costos de la tecnología solar para aplicaciones industriales oscilaron entre 250 y 500 €/m²; lo que supone que el costo de la energía térmica generada fue de entre 0.02 y 0.05 €/kWh para aplicaciones de baja temperatura (hasta 150 °C), y de entre 0.05 y 0.15 €/kWh para sistemas de temperatura media (hasta 400 °C). Sin embargo, frente a cualquier estimación de costos hay que tener en cuenta las condiciones del sitio, las cuales varían ampliamente de un lugar a otro tanto en los niveles de irradiación solar como en la infraestructura para la instalación y puesta en marcha de los proyectos, lo que conduce a una amplia diferencia entre los costos de uno y otro sitio.

Una parte importante del costo total de los sistemas se concentra en la adquisición de los colectores solares, entre el 60% y 80% del costo total de la instalación. El resto de la inversión es atribuible a la tubería, intercambiadores de calor, bombas, planificación y diseño, así como instrumentos de control. Los costos de mantenimiento, por otro lado, fueron relativamente bajos con 2.5 €/m² para colectores estacionarios²⁷ y 5 €/m² en el caso de colectores parabólicos (AIGUASOL, 2001).

A pesar de los avances tecnológicos, y a diferencia de las reducciones en el precio de los sistemas solares con aplicaciones domésticas, en el sector industrial la tecnología apenas ha disminuido sus costos. Durante 2015 los costos de instalación de sistemas solares térmicos se ubicaron entre los 180 y 500 €/m², una ligera disminución con respecto a 2010 donde los costos fueron de entre 250 y 500 €/m², prácticamente los mismos que a principio de la misma década. A pesar de esta tendencia, se espera que los costos disminuyan entre 43% y 60% para los años 2020 y 2050 respectivamente.

Para sistemas convencionales CP y CTE, el costo de instalación en Europa oscila entre 250 y 1,000 €/kW_p, pero en países como Turquía, México y Sudáfrica el costo es mucho menor, entre 200 y 300 €/kW_p, debido a diferentes factores: economías de escala, bajo costo de los colectores, bajos estándares para procesos, bajos costos de mano de obra local y alta irradiación, entre otros.

²⁷ Se refiere a colectores solares planos, colectores de tubo de vacío y colectores parabólicos compuestos, sin sistemas de seguimiento

Tabla 12. Costos de la tecnología solar para aplicaciones en la industria a nivel internacional

PAÍS	AÑO DE INSTALACIÓN	TIPO DE COLECTOR	CAPACIDAD INSTALADA (kW _p)	COSTO (€/kW _p)
Austria	1994	Placa plana	62	470
	2001	Placa plana	29	680
	2002	Placa plana	30	498
	2004	Placa plana	36	961
	2013	Placa plana	1064	271
China	2008	Placa plana	9000	122
	2011	Tubos evacuados	4025	248
	2012	Tubos evacuados	441	272
Alemania	1996	Placa plana	17	803
	1998	Placa plana	106	1062
	1998	Tubos evacuados	18	960
	2008	Tubos evacuados	280	857
	2010	Placa plana	400	523
Grecia	1993	Placa plana	119	217
	1999	Placa plana	1,890	691
	2001	Placa plana	706	247
India	2011	Placa plana	84-302	216
	2011	Tubos evacuados	97-369	203
Israel	2014	Placa plana	30.5	607
Italia	2003	Placa plana	78	745
	2004	Placa plana	188	584
	2005	Tubos evacuados	47	1097
	2005	Placa plana	10	1240
Portugal	1992	Placa plana	462	445
España	1994	Placa plana	97	662
	1997	Placa plana	182	541
	2002	Placa plana	106	638
	2004	Placa plana	357	752
	2011	Placa plana	176	744
Turquía	2013	Placa plana	490	237
Vietnam	2009	Tubos evacuados	700	286
	2012	Tubos evacuados	494	91
USA	2012	Placa plana	5462	1373

Fuente: (IRENA, 2015a)

La tecnología de concentración solar es mucho más costosa, en comparación con los colectores solares de placa plana o de tubos evacuados.

Tabla 13. Costo de colectores solares de concentración

	POTENCIA TÉRMICA ESPECÍFICA [KW/M ²]	UBICACIÓN	COSTO [USD/M ²]	COSTO [USD/KW]
Tubos evacuados con concentrador parabólico compuesto (CPC)	0.60-0.65	China	130	200-220
		Europa	450-900	690-1500
	0.3	India	333	1133
Disco parabólico compuesto	0.21-0.31	India	113-300	365-1430
Plato parabólico con seguimiento	0.34-0.74	India	300-600	600-1760
Cilíndrico-parabólico	0.50-0.56	Europa	650	1160-1300
	0.22-0.28	India	445	1580-2040
	0.55-0.7	México	400-629	570-1100
Fresnel lineal	0.50-0.56	Europa	650-900	1160-1800

Fuente: (IRENA, 2015a)

Los costos de instalación de proyectos llave en mano alrededor del mundo presentan rangos diferenciados por el tipo de colector solar empleado:

Tabla 14. Rango de costos de inversión para proyectos llave en mano en la industria

TIPO DE COLECTOR SOLAR	RANGO DE COSTOS (USD/ kW _t)								
	400	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000
Colectores de plato parabólico (400-2,000 USD/ kW _t)									
Colectores cilíndrico-parabólicos (600-2,000 USD/ kW _t)									
Colectores Fresnel lineales (1,200-1,800 USD/ kW _t)									

Fuente: Modificado de (IRENA, 2015a)

En contraste, los costos de generación de calor son bastante bajos y van desde los 6 hasta los 9 centavos de Euro por kWh_t. Cabe mencionar que los costos de instalación de concentradores solares son mucho más bajos en comparación con la misma tecnología con fines de generación de potencia donde los costos son del orden de 3,400 y 6,000 USD/ kW_e (IRENA, 2015a).

Los costos actuales de los sistemas solares térmicos industriales están determinados por un número relativamente pequeño de proveedores de estas tecnologías. Aunque éstos son de alto rendimiento, generalmente son demasiado costosos para el mercado global. La experiencia en el mercado indio, por ejemplo, ha demostrado que los equipos fabricados localmente reducen los costos de capital, crean valor agregado y oportunidades de negocios locales a lo largo de la cadena de suministro.

El potencial técnico estimado de nueva capacidad instalada de sistemas solares térmicos en el sector industrial hacia el año 2030 es de 757 GW_p, de los cuales se ha identificado que 9 GW_t podrían instalarse en México.

Estas estimaciones fueron realizadas bajo el supuesto de que los costos de la tecnología disminuyan y haya una reducción importante de los subsidios a los combustibles fósiles.

Tomando en cuenta estas dos variables, así como la volatilidad y expectativas de aumento en el precio de los combustibles fósiles en el corto y mediano plazo, estos factores deben ser considerados en los análisis de la rentabilidad de los sistemas solares térmicos en el sector industrial.



4.2 COSTOS NACIONALES DE LAS TECNOLOGÍAS SOLARES PARA PROCESOS INDUSTRIALES

De acuerdo con la información disponible de los proyectos registrados en la plataforma de información de la IEA²⁸, entre el periodo 2001 a 2017 se han instalado 64 sistemas solares térmicos para procesos industriales. El monto total de inversiones para la instalación de 13,516 kW_t²⁹ (23,048 m² de área bruta de colectores) ha representado alrededor de 3.7 millones de Euros en México. Las inversiones incluyen los costos de cada proyecto llave en mano (colectores solares, tuberías, estructuras de apoyo, diseño, puesta en marcha) de diferentes tecnologías solares.

Considerando el monto total de inversión en cada proyecto, el costo promedio oscila entre 104 y 1,608 €/kW_t (73 y 1,054 €/m²), dependiendo del tipo de tecnología, el nivel de temperatura, el energético convencional sustituido, y la energía solar generada en diferentes aplicaciones en el sector industrial.

La comparación de inversión específica entre tecnologías (Euros por kilowatt térmico instalado), sin ser exhaustiva, muestra que, por cada kilowatt térmico instalado de una misma tecnología, hasta ahora no registra efectos significativos en la economía de escala de los proyectos en el mercado mexicano.

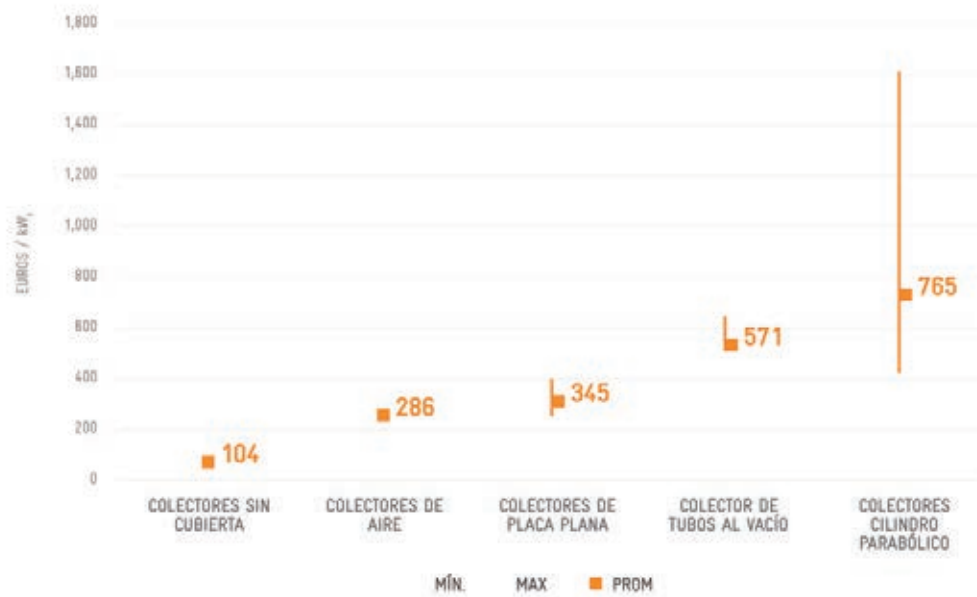
Costos promedios de inversión específica [€/kW_t] para sistemas solares térmicos (proyectos llave en mano) en aplicaciones industriales, por tipo de tecnología:

+ Sistemas solares con colectores sin cubierta:	104 €/kW _t (73 €/m ²)
+ Sistemas solares con colectores de aire:	286 €/kW _t (200 €/m ²)
+ Sistemas solares con colectores de placa plana:	345 €/kW _t (241 €/m ²)
+ Sistemas solares con colectores de tubos evacuados:	571 €/kW _t (397 €/m ²)
+ Sistemas solares con colectores cilíndrico-parabólico:	765 €/kW _t (338 €/m ²)

²⁸ <http://ship-plants.info/>

²⁹ Corresponde a 2,087 kW_t de proyectos llave en mano con colectores planos, 2,590 kW_t de colectores sin cubierta, 319 kW_t con colectores de tubos evacuados, y 84 kW_t de colectores de aire instalados por la empresa Modulo Solar; así como, 2,400 kW_t de proyectos llave en mano con colectores cilíndrico-parabólicos, instalados por la empresa Inventive Power. Existe un proyecto de 4,400 kW_t instalado por la empresa danesa Arcon-Sunmark, del cual no se cuenta con información del monto de inversión.

Gráfica 18. Costos específicos de inversión de sistemas solares térmicos (proyectos llave en mano) en aplicaciones industriales reportados en México



Fuente: Elaboración propia a partir de información de (AEE INTEC, 2018)

En 2017, los costos de instalación de proyectos llave en mano con colectores cilíndrico-parabólicos que se encuentran en construcción, registran una reducción de costos en México hasta 580 €/kW, de acuerdo con la empresa Inventive Power. Esto debido principalmente por mejoras en la eficiencia de la tecnología disponible en México y el uso de sistemas de seguimiento de la trayectoria solar en un eje, así como en la optimización de los costos de instalación por proyecto.

La información general sobre las tecnologías termosolares en México aún es limitada, por lo que es necesario recopilar y publicar información útil para los tomadores de decisión y los usuarios finales, tales como:

- + Base de datos de proyectos termosolares instalados y en operación en México (casos de éxito y fracaso; lecciones aprendidas)
- + Indicadores de precios y costos comerciales en el país (de colectores solares y proyectos llave en mano)
- + Estado del arte de las tecnologías solares comercialmente disponibles
- + Indicadores de desempeño de las tecnologías comerciales
- + Tendencias del mercado



4.3 PRECIOS PROMEDIO DE LOS COMBUSTIBLES EN EL SECTOR INDUSTRIAL MEXICANO

Para que la tecnología solar térmica pueda competir con los combustibles convencionales, además de satisfacer los requerimientos térmicos tanto en volumen como en temperatura, debe ser atractiva económicamente. El costo de la tecnología depende principalmente del rango de temperaturas a la cual se desea elevar el fluido de trabajo, la continuidad del proceso, la irradiación solar en el sitio y el tamaño de la instalación.

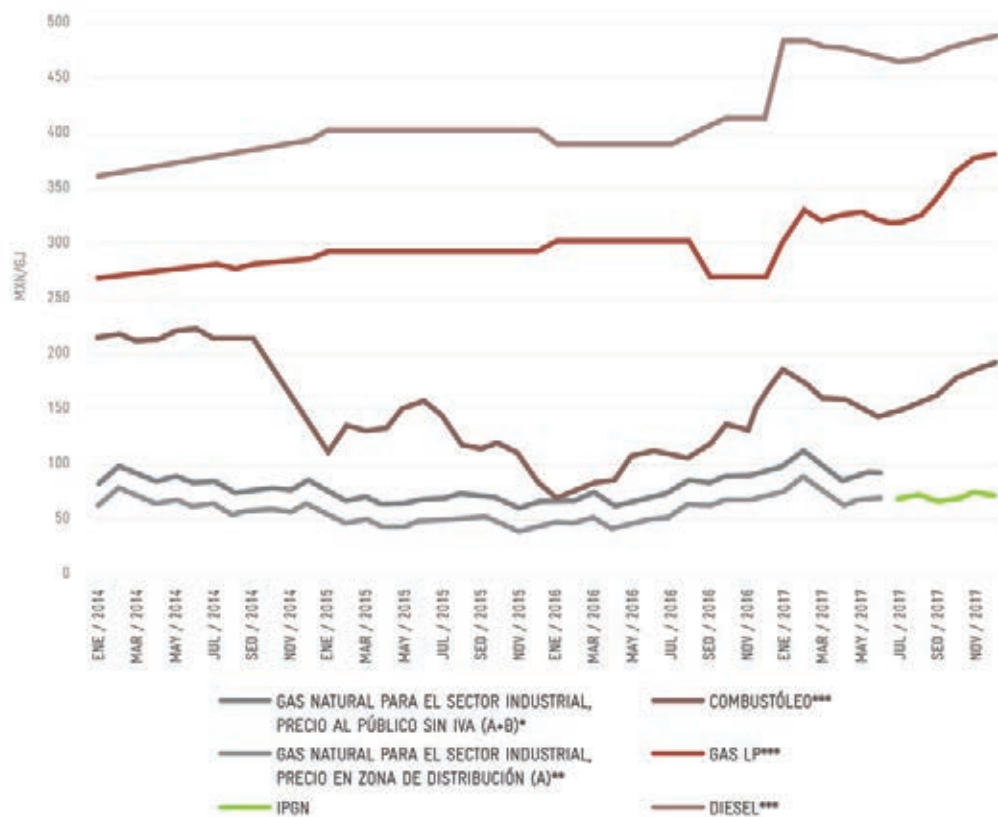
Además de los aspectos tecnológicos claves mencionados en el punto 2.1.1, al implementar tecnología de calentamiento solar en procesos industriales, es de suma importancia considerar el costo de la energía térmica suministrada a partir de combustibles convencionales a nivel local.

El consumo total de energía en el sector industrial mexicano está fuertemente ligado al suministro de gas natural y electricidad, los cuales representan 39 y 33% respectivamente. El resto del suministro de calor proviene de otras fuentes como el combustóleo, gas LP y diésel.

Actualmente en México, al igual que en muchos países del mundo, los procesos industriales tienden a una mayor utilización del gas natural como combustible base, esto se debe principalmente al bajo precio que se ha observado en los últimos años, lo cual lo ha hecho bastante competitivo en relación con otras fuentes de energía convencionales (ver [Gráfica 19](#)). Además, el gas natural resulta ser un energético más limpio en comparación con el combustóleo, el gas LP u otros combustibles fósiles.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que todos los combustibles fósiles están sujetos a la variación de precios de producción nacional y de adquisición en los mercados internacionales.

En la [Gráfica 19](#) se puede observar la relación de los precios promedio mensuales en el mercado a nivel nacional de los combustibles que consume el sector industrial, así como su trayectoria durante los últimos años. Para facilitar la comparación e interpretación de los precios de los energéticos, se llevó a cabo la conversión de los diferentes combustibles en términos de energía (GJ).

Gráfica 19. Comportamiento de los precios de los combustibles en el sector industrial en México (2014 – 2017)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (CRE, 2017), (CRE, 2018), (SENER, 2018) y (PEMEX, 2018).

Nota: * Precio promedio al Público sin IVA (A+B) (incluye el precio en Zona de Distribución y Tarifa de Distribución)

** Precio del Gas en Zona de Distribución (A)

*** Precio ponderado nacional, incluye costos logísticos e impuestos (IEPS e IVA)

Cabe mencionar que, a partir de julio de 2017, la CRE reporta mensualmente el Índice de Referencia Nacional de Precios de Gas Natural al Mayoreo (IPGN), derivado de la eliminación del precio máximo de gas natural objeto de venta de primera mano (VPM). El IPGN refleja los precios de las transacciones realizadas libremente por los comercializadores del mercado. El IPGN será publicado en Pesos por Gigajoule (MXN/GJ) y en Dólares por Millón de unidades térmicas británicas (USD/MBTU), esto último con el fin de hacerlo comparable con los precios de referencia e índices de precios internacionales.

A pesar de que el precio del gas natural hasta ahora ha sido competitivo frente a otros combustibles fósiles, los precios registrados en los últimos años presentan una tendencia al alza.

Tabla 15. Precios ponderados nacionales de combustibles, promedio anual

COMBUSTIBLE	(MXN/GJ)				(MXN/kWh _t)			
	2014	2015	2016	2017	2014	2015	2016	2017
Gas natural industrial	85	69	78	97	0.306	0.250	0.282	0.349
Combustóleo	204	127	110	167	0.734	0.456	0.395	0.601
Gas LP	278	293	291	337	1.001	1.054	1.047	1.213
Diésel	377	402	398	477	1.358	1.446	1.432	1.717

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (CRE, 2017), (CRE, 2018), (SENER, 2018) y (PEMEX, 2018).

A partir de este primer análisis del precio de los combustibles a nivel nacional, se puede establecer un punto de referencia del orden de magnitud de los costos que enfrenta el sector industrial en México para satisfacer la demanda de energía térmica. En promedio, a nivel nacional el gas natural registró un precio promedio de \$477 pesos por Gigajoule durante el año 2017, resultando ser 3 o 4 veces más barato por cada unidad de energía en comparación con el resto de los combustibles analizados, a excepción del combustóleo.

A pesar del costo relativamente bajo del combustóleo en comparación con otros combustibles, su uso es cada vez más limitado debido a las restricciones ambientales en las principales zonas metropolitanas del país.

En el caso del gas LP, diésel y combustóleo, los precios en las diferentes regiones del país hasta ahora se han mantenido relativamente similares. En contraste, el precio del gas natural en México registra variaciones importantes en función de la zona de distribución de que se trate, que en algunos casos puede duplicar su precio entre las zonas del país con acceso a este energético. Además, el suministro de gas natural está limitado a la infraestructura disponible solo en ciertas zonas del país. Por lo anterior, en la siguiente sección se aborda un análisis del comportamiento de los precios del gas natural en las diferentes regiones de distribución del país.

4.3.1 PRECIOS PROMEDIO DEL GAS NATURAL PARA EL SECTOR INDUSTRIAL EN LAS DIFERENTES ZONAS DE DISTRIBUCIÓN

Los precios del gas natural en México incorporan las cotizaciones del gas en los mercados de referencia en Estados Unidos³¹, los costos de transporte entre Estados Unidos y México, así como los costos de transporte en la red de ductos del país³². Dichos precios están sujetos a la volatilidad de los mercados de referencia, el tipo de cambio y a los costos logísticos en las 20 zonas de distribución de gas natural localizadas en 4 regiones (centro, centro-occidente, noreste y noroeste) que existen actualmente en el país.

Un primer análisis de los precios del gas natural en diferentes zonas del país muestra que para el mes de junio de 2017 existió una diferencia de precios (promedio) de 52 pesos por Gigajoule entre las zonas más y menos competitivas respectivamente (zona Saltillo-Ramos Arizpe-Arteaga y la zona Río Pánuco) (ver Gráfica 20). En el último año (periodo de junio de 2016 a junio de 2017), se ha observado una tendencia al alza en el precio de este combustible en promedio del 30% a nivel nacional.

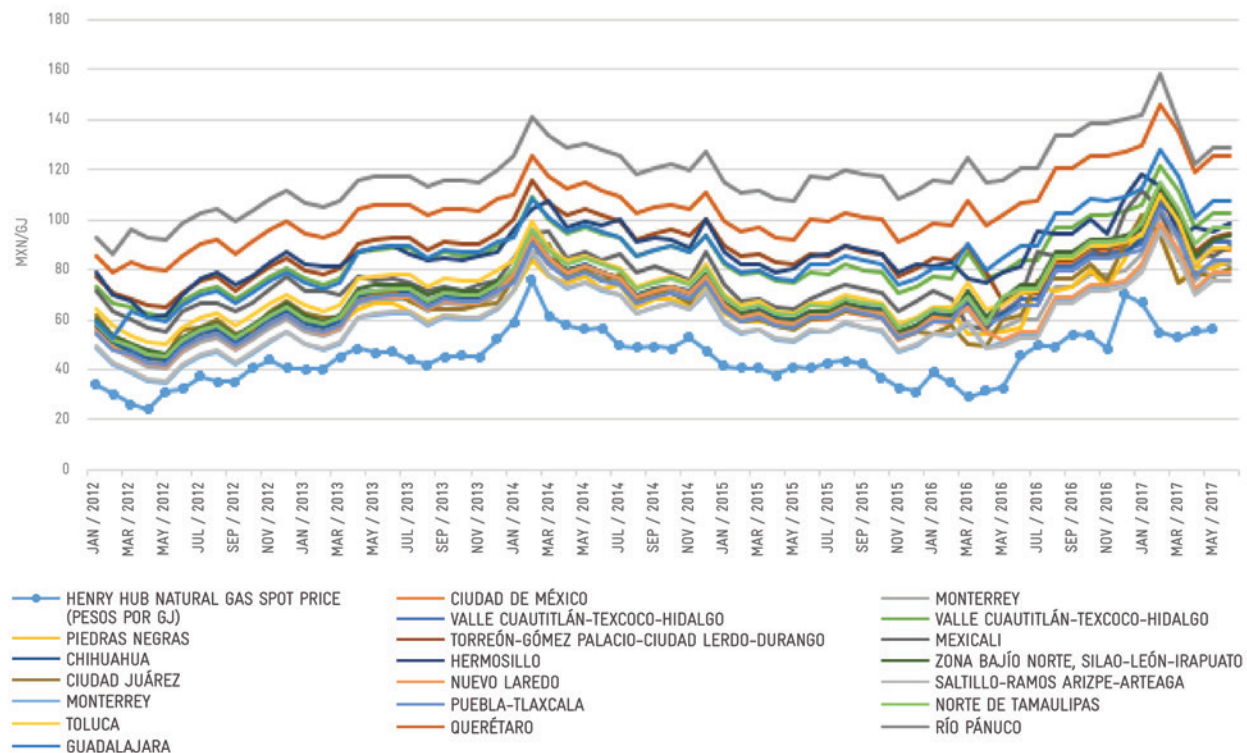
La zona geográfica de Río Pánuco, conformada por los municipios de Tampico, Ciudad Madero y Altamira en el estado de Tamaulipas, registra los precios más altos del país de éste energético. Otra zona que reporta precios relativamente altos en comparación con el resto del país es, por ejemplo, la región Centro-Occidente, conformada por el área metropolitana de Querétaro, la Zona Bajío Norte (conformada por las ciudades de Silao, León e Irapuato), así como el área metropolitana de Guadalajara y la zona centro del estado de Jalisco.

³⁰ A partir del mes de julio de 2017, se emplea el Índice de Referencia Nacional de Precios de Gas Natural al Mayoreo (IPGN) el cual es un índice de carácter informativo, que refleja el promedio de los precios de las transacciones realizadas de manera libre y voluntaria por los comercializadores en el mercado mexicano.

³¹ Cotizaciones del gas natural registradas en los mercados de Estados Unidos: Houston Ship Channel (HSC), Henry Hub (HH) y el Sur de Texas (ST).

³² Tarifas máximas autorizadas por el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS).

Gráfica 20. Precio promedio mensual de gas natural en las 20 zonas de distribución en México y precio de referencia Henry Hub



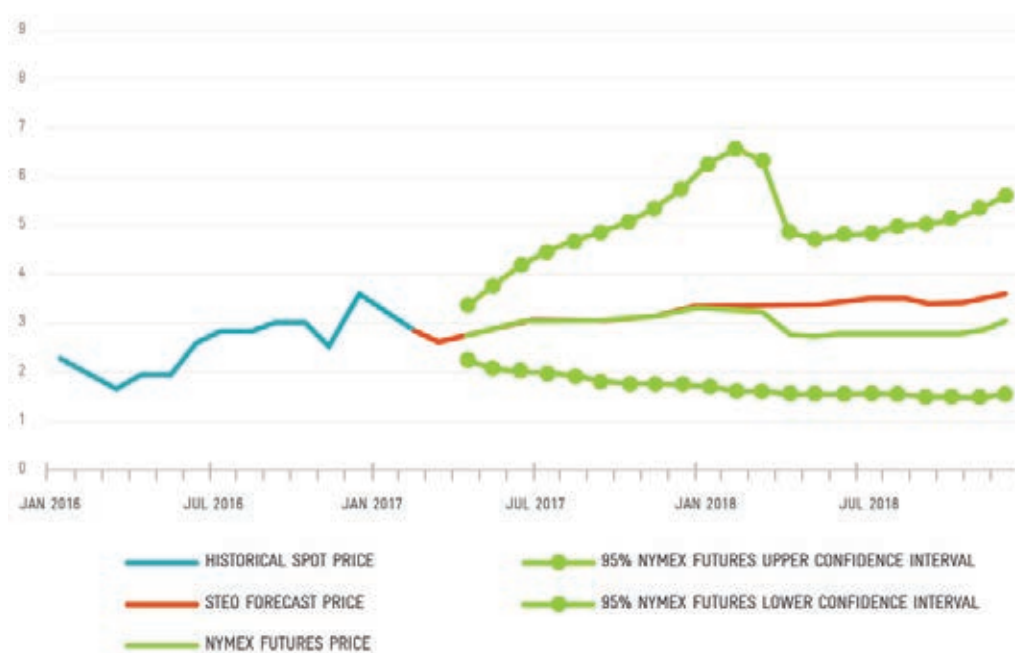
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (CRE, 2017), (BANXICO, 2017), (EIA, 2017).

Nota: Para el cálculo del precio spot de gas natural Henry Hub, se ha utilizado el tipo de cambio para solventar obligaciones denominadas en dólares de los EE. UU., pagaderas en la República Mexicana publicados por el Banco de México (tipo de cambio promedio mensual).

Debido a la vinculación del precio del gas natural en México con el precio de referencia en los Estados Unidos, éste es un factor importante que considerar en la evaluación de los costos futuros de calor en el sector industrial, y en la planificación de políticas públicas para reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

En el corto plazo, las expectativas de aumento de precios futuros de gas natural en el mercado de referencia Henry Hub prevén aumentos del combustible del 6% en el periodo de febrero de 2017 a diciembre de 2018, así como estar sujeto a la alta volatilidad durante el mismo periodo pudiendo casi duplicar su precio.

Gráfica 21. Precio del gas natural Henry Hub (dólares por millón de BTU)



Fuente: (EIA, 2017)

Nota: Intervalo de confianza derivado de información de opciones de mercado de compra a 5 días que finalizaron el 2 de marzo de 2017. Intervalos no calculados para meses con escasa negociación en contratos de opciones cercanas al precio del mercado subyacente a contrato de futuros.

De acuerdo con el World Energy Outlook 2016 de la IEA (IEA, 2016b), los precios de gas natural Henry Hub a partir de septiembre de 2016 fueron alrededor de 3 dólares / MBTU. Bajo un escenario de nuevas políticas³³, hasta 2020 el precio del gas natural en América del Norte se mantendrá relativamente bajo, alrededor de 4 dólares / MBTU; motivado principalmente por el repunte esperado del precio global del petróleo y el incremento del valor y volumen de producción de petrolíferos junto con la producción de gas asociado.

Sin embargo, en el largo plazo, la necesidad de que Estados Unidos y Canadá produzcan más de 1 billón de metros cúbicos de gas cada año comienza a ser un factor en el futuro precio. Las presiones de doble costo de depender más de la producción de gas seco y agotar las áreas más productivas de las diversas obras de gas de esquisto tiene el efecto de empujar el precio gradualmente más alto y en 2040 se estaría cerrando en \$ 7 / MBTU.

³³ El escenario de Nuevas Políticas, incorpora las políticas energéticas existentes, así como una evaluación de los resultados que puedan derivarse de la implementación de las intenciones anunciadas, en particular de las promesas climáticas presentadas para la COP21.



4.4 COSTOS NIVELADOS DE ENERGÍA TÉRMICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL

El costo de la generación de energía térmica o calor en una planta industrial no solo implica la variación en los precios de los combustibles, sino también en los costos de inversión de la infraestructura asociada, la eficiencia y vida útil de las plantas, entre otros factores. Esto conlleva a utilizar análisis comparativos para medir las ventajas económicas de una fuente energética con respecto a otra de manera equitativa.

El costo nivelado de energía, también conocido como costo normalizado o costo equivalente (abreviado como LCOE por sus siglas en inglés), es la valoración económica del costo del sistema de generación de calor que incluye todos los costos a lo largo de la vida útil del proyecto: la inversión inicial, operación y mantenimiento, el costo de combustible, costo de capital, etc.

Los costos nivelados de energía tienen el objetivo de comparar los costos totales relacionados con el sistema de generación de energía térmica y la energía entregada por este sistema durante la vida útil de este mismo. Para hacer una comparación de sistemas tradicionales que utilizan energía fósil versus sistemas térmicos solares, se toma como referencia 20 años de operación en ambos casos.

Algunos estudios estiman que el costo de la energía de sistemas solares térmicos para procesos industriales es económicamente viable cuando se encuentran en el rango de 0.025 a 0.08 € / kWh (IRENA, 2015a).

La metodología utilizada para estimar el costo nivelado de energía en el presente estudio, es la propuesta por el Programa de Calentamiento y Enfriamiento Solar (Mauthner, et al., 2017) de la IEA. El costo nivelado de energía LCOE para generación térmica con combustibles fósiles se calcula con la siguiente ecuación.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{t_{ges}} C_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^{t_{ges}} E_t(1+r)^{-t}}$$

$LCOE$	costo nivelado de calor generado por energía fósil [\$/ kWh _f]
C	costo total relacionado con un sistema de suministro de energía [\$/ kWh _f]
E	energía resultante suministrada por este sistema [kWh _f]
r	tasa de descuento (interés) [%]
t	año dentro del período de uso (1,2,... t_{ges})
t_{ges}	período de uso (tiempo de vida del sistema solar térmico en años) [a]

La metodología compara los costos anuales del sistema de generación térmica, donde están incluidos el costo inicial del equipo en el primer año (1 caldera de 100 caballos de potencia térmica), el costo anual del combustible utilizado y los costos de O&M (C_o) de 15% anual. De manera similar, en el caso de sistemas solares térmicos, se consideran los costos anuales fijos y variables durante la vida útil (20 años).

El costo anual de operación se divide entre la cantidad de energía generada en el año t (E_t). Debido a que la operación del sistema tiene un costo de oportunidad, se incluye una evaluación económica al utilizar una tasa de descuento (r) del 7% (se ha considerado una tasa de descuento con base en la tasa de interés de referencia publicada por el Banco de México el 28 de junio de 2017).

Por lo anterior, se hicieron algunas suposiciones para poder calcular los valores de LCOE para diferentes combustibles. La eficiencia de la caldera se considera de 80%, los costos de los equipos son estimados, \$5,800 por Caballo Caldera (CC) + Impuestos.

Respecto al incremento anual en el precio de los combustibles fósiles fue considerado un incremento promedio anual de 8% para cada uno de los combustibles analizados (gas natural, gas LP, combustóleo y diésel).

Para el caso de la caldera se consideró una presión de trabajo de 15.8 kg/cm² y una temperatura ambiente de 25 °C. Se consideró una operación de la caldera de 50 semanas al año y 8 horas de operación al día, con dos semanas al año que se utilizan para mantenimiento.

A partir de la metodología antes mencionada, se han estimado los costos nivelados de energía que en promedio han representado para la industria la generación de calor en sus procesos. Sin embargo, se sugiere realizar análisis más profundos en estudios subsecuentes para conocer los costos que representa la generación de calor en los diferentes segmentos de la industria y en las diversas escalas de plantas que operan en el país.

Basado en el precio promedio de los combustibles empleados en la industria en el año 2017 y la metodología de costos nivelados de energía, LCOE, se estima que de manera general la generación de calor térmica implicó los costos plasmados en la siguiente tabla.

Tabla 16. Estimación de costos nivelados de energía térmica en la industria, promedio 2017

COMBUSTIBLE	MXN / GJ	MXN / kWh _t
LCOE Gas natural	227.90	0.820
LCOE Combustóleo	230.51	0.830
LCOE Gas LP	782.92	2.819
LCOE Diésel	973.17	3.503

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, se observa que los LCOE del combustóleo y del gas natural son los más competitivos respecto a otros combustibles fósiles. Sin embargo, el consumo de gas natural o combustóleo está sujeto a restricciones particulares. En el caso del gas natural, no se tiene acceso en toda la república mexicana, ya que éste se transporta por medio de ductos. Por otra parte, el combustóleo es altamente contaminante por lo que solo está permitido que se utilice en áreas no urbanas.

El caso del gas LP presenta varias ventajas, se encuentra fácilmente y se puede transportar, es relativamente limpio en comparación con el combustóleo, se puede utilizar para múltiples aplicaciones (generación térmica, cocina, carburación para autos), sin embargo, tiene un costo más elevado que los otros combustibles. El diésel también se encuentra fácilmente en el mercado y es fácil de transportar, pero no es tan limpio como el gas natural y gas LP por lo que no se puede utilizar para la cocina y algunas aplicaciones de procesamiento de alimentos.

En el caso particular del gas natural, la variación de los precios que registran las diferentes zonas del país implica costos diferenciados en la generación de calor para el sector industrial.

Empleando la metodología de costos nivelados y los supuestos antes mencionados, la generación de calor a partir de gas natural se ubica entre 200 y 340 pesos por cada GJ en promedio. En contraste, los costos nivelados de otros energéticos no presentan una variación tan marcada a nivel local en comparación con el gas natural.

Tabla 17. Precios de gas natural a usuarios del sector industrial por región y zona de distribución y estimaciones del LCOE (abril de 2017)

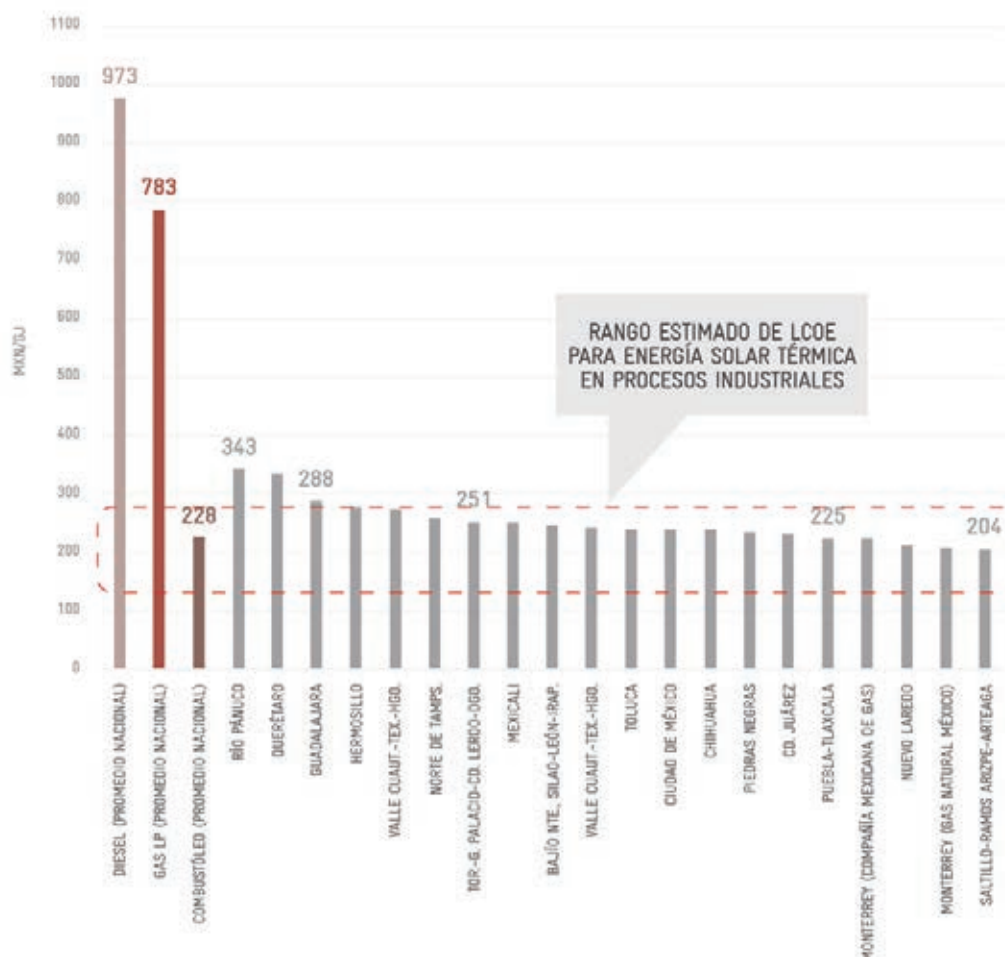
PRECIO AL PÚBLICO SIN IVA (A+B) ³⁴ (MXN/GJ)	LCOE (MXN/GJ)	REGIÓN	ZONA GEOGRÁFICA	PERMISIONARIO
122	343	Noreste	Río Pánuco	Tractebel GNP, S.A. de C.V.
119	335	Centro – Occidente	Querétaro	Tractebel Digaqro, S.A. de C.V.
97	277	Noroeste	Hermosillo	Gas Natural del Noroeste, S.A. de C.V.
101	288	Centro – Occidente	Guadalajara	Tractebel DGJ, S.A. de C.V.
86	249	Noroeste	Mexicali	Ecogas México, S. de R.L. de C.V. – Mexicali
96	275	Centro	Valle Cuautitlán–Texcoco–Hidalgo	Distribuidora de Gas Natural México, S.A. de C.V.
79	231	Noreste	Ciudad Juárez	Gas Natural de Juárez, S.A. de C.V.
85	246	Centro – Occidente	Zona Bajío Norte, Silao–León–Irapuato	Gas Natural México, S.A. de C.V. – Bajío
81	236	Noreste	Piedras Negras	Compañía Nacional de Gas, S.A. de C.V.
82	238	Centro	Toluca	Gas Natural México, S.A. de C.V.– Toluca
90	259	Noreste	Norte de Tamaulipas	Tamauligas, S.A. de C.V.
87	251	Noreste	Torreón–Gómez Palacio–Ciudad Lerdo–Durango	Ecogas México, S. de R.L. de C.V. – La Laguna–Durango
82	238	Centro	Distrito Federal	Comercializadora Metrogas, S.A. de C.V.
84	244	Centro	Valle Cuautitlán–Texcoco–Hidalgo	Consorcio Mexi–Gas, S.A. de C.V.
77	225	Centro	Puebla–Tlaxcala	Natgasmex, S.A. de C.V.
82	238	Noreste	Chihuahua	Ecogas México, S. de R.L. de C.V. – Chihuahua
76	223	Noreste	Monterrey	Compañía Mexicana de Gas, S.A. de C.V.
72	212	Noreste	Nuevo Laredo	Gas Natural México, S.A. de C.V. – Nuevo Laredo
71	210	Noreste	Monterrey	Gas Natural México, S.A. de C.V. – Monterrey
69	204	Noreste	Saltillo–Ramos Arizpe–Arteaga	Gas Natural México, S.A. de C.V. – Saltillo

Fuente: Elaboración propia con información de (CRE, 2017) y (SENER, 2018).

A partir de estos análisis generales, se busca identificar de manera orientativa (no exhaustiva) posibles zonas geográficas del país en dónde podría resultar más atractiva la instalación de sistemas solares térmicos en el sector industrial y enfocar esfuerzos para desarrollar análisis más profundos en estudios futuros. Con base en la disponibilidad de recursos solares en México, se estima de manera general que los costos nivelados de energía para proyectos solares térmicos actualmente se ubican en el rango de 130 a 285 pesos por GJ, entre las zonas que cuentan con altos niveles de irradiación y las zonas menos favorecidas con la disponibilidad del recurso solar.

³⁴ Precio del gas en zona de distribución (A) + tarifa de distribución (B)

Gráfica 22. Costos nivelados de energía (LCOE) estimados para diferentes zonas de distribución de gas natural en México y otros petrolíferos vs. calor solar en procesos industriales



Fuente: Elaboración propia a partir de información de precios de gas natural de abril de 2017 (CRE, 2017)

4.4.1 COSTOS NIVELADOS DE ENERGÍA TÉRMICA CONVENCIONAL Y SOLAR EN EL SECTOR INDUSTRIAL – CASO ESTADO DE JALISCO

El costo nivelado de energía generado a través de proyectos solares térmicos está determinado en cierta medida por la irradiación solar específica de cada sitio. Derivado de los resultados hasta ahora obtenidos, el combustible fósil más competitivo ha resultado ser el gas natural. Bajo estas consideraciones, si el costo de la energía generada a través de sistemas solares térmicos resulta similar o inferior al gas natural frente a otros combustibles, habrá una mayor oportunidad de competir económicamente.

Para comparar en condiciones similares los costos nivelados de energía generados por medio de diferentes tecnologías solares y por fuentes convencionales, en el presente estudio se realizó un análisis basado en las condiciones de irradiación y precio de combustibles en la ciudad de Guadalajara. En esta y otras zonas del país en donde se registran los costos más elevados del gas natural, la energía solar podría competir de manera más favorable para aportar calor a los procesos industriales.

El cálculo del costo nivelado de energía para un sistema solar térmico está basado en la metodología empleada en la Ecuación 1, y puede ser expresada de la siguiente manera:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^{t_{ges}} A_t (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^{t_{ges}} SE (1+r)^{-t}}$$

En esta ecuación se incluye el costo inicial del proyecto solar térmico (I_0), sin incluir impuestos, los gastos fijos y variables de O&M (A_t), ambos en términos del área bruta de colectores instalados.

Una vez calculados los costos iniciales y los costos anuales, estos se dividen entre la cantidad de energía generada durante el año t . Igual que en la ecuación anterior también se incluye una evaluación económica donde se utiliza una tasa de descuento.

$LCOE$	Costo nivelado de calor generado con energía solar térmica [\$/GJ]
I_0	Costo específico del sistema solar por m^2 de instalación (Sin IVA y subsidios) [\$/ m^2]
A_t	Costos fijos y variables de O&M en el año t por m^2 de instalación [\$/ m^2]
SE	Generación de energía térmica en el año t por m^2 de instalación [GJ/ m^2] [kWh/ m^2]
r	Tasa de referencia [%]
t_{ges}	Años de uso del sistema solar [a]
t	Año dentro del periodo de uso [1,2... t_{ges}]

Es importante mencionar que los costos nivelados de energía son específicos para cada proyecto de generación térmica con combustibles fósiles y de generación con energía solar, teniendo una mayor variación de estos últimos, pues dependen de la disponibilidad del recurso solar y las características del lugar de instalación.

a) Supuestos en el cálculo de LCOE con energía solar térmica

En el presente estudio se han considerado tres tipos de colectores solares que actualmente ya se encuentran instalados en la industria mexicana: placa plana, tubos de calor (heat pipe) y cilíndrico-parabólico.

Los requerimientos de calor se han supuesto idénticos para cada tipo de sistema solar, considerando un volumen de agua de 25,000 litros diarios que es calentado desde 25 °C hasta 95 °C, y una temperatura ambiente de 19.5 °C. El factor de planta de los sistemas se ha supuesto en 80%, tomando en cuenta periodos de mantenimiento y días nublados en los que el sistema estaría fuera de operación.

Se empleó información técnica de colectores solares que se comercializan en México con los siguientes costos de referencia y eficiencias:

- + Colector cilíndrico-parabólico: \$17,843 pesos por colector y eficiencia de 58%
- + Colector tubos de calor: \$17,630 pesos por colector y eficiencia de 66.4%
- + Colector de placa plana: \$8,330 pesos por colector y eficiencia de 52%

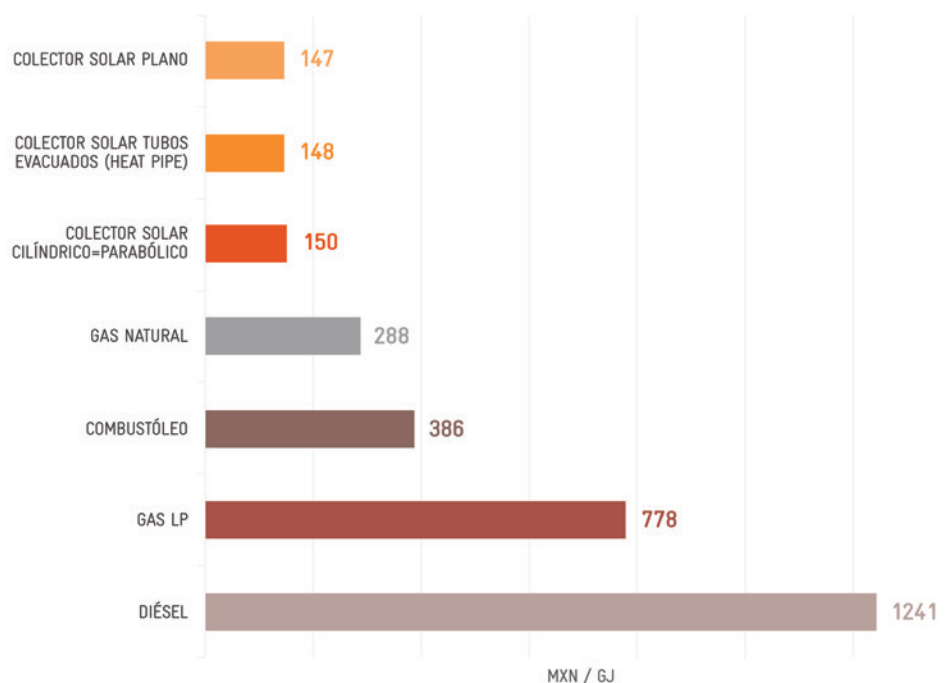
Para los sistemas con concentrador cilíndrico-parabólico se consideró una irradiación normal directa (DNI) de 6.6 kWh/ m^2 /día; y para los sistemas con colectores de placa plana y tubos de calor se consideró una irradiación global horizontal de 5.8 kWh/ m^2 /día.

Se considera costo específico del sistema solar de 0.8% como costo de O&M anual por m^2 de instalación [A_t] para sistemas con colectores cilíndrico-parabólicos y 0.5% para sistemas con colectores de placa plana y tubos de calor (heat pipe). En ambos casos se considera un incremento de 4% anual en los costos de O&M.

b) Costos nivelados de energía para sistemas solares térmicos y fuentes convencionales

Los costos nivelados (LCOE) de las tecnologías térmicas solares analizadas en este estudio resultaron ser similares a los del gas natural, ubicándose en el espectro bajo (competitivo) de los combustibles y tecnologías analizadas.

Gráfica 23. Estimación de costos nivelados de generación de calor para el sector industrial en el área metropolitana de Guadalajara (MXN/GJ)



Fuente: Elaboración propia a partir de precios promedio de combustibles en la zona metropolitana de Guadalajara (para el mes de abril 2017) (SENER, 2017).

Esta situación puede ser explicada porque los sistemas solares térmicos no implican costos anuales por el consumo de combustible, sin embargo, si requieren de una fuerte inversión inicial en relación con otras tecnologías. Esto implica que el costo de oportunidad sea un factor por considerar entre las opciones de inversión en sistemas solares térmicos y las tecnologías convencionales como calderas de gas natural.

Los resultados de este primer análisis sobre los costos nivelados de energía, permiten poner en perspectiva la conveniencia de llevar a cabo análisis más profundos, sobre la rentabilidad de sistemas solares térmicos en diferentes subsectores industriales, diferentes procesos y zonas del país, que permitan determinar con mayor precisión el potencial de este mercado en México; así como la contribución para aumentar la participación de energías renovables en la matriz energética, y una alternativa para reducir el impacto ambiental que implica el consumo de combustibles fósiles.

A pesar de los resultados generales de costos nivelados, es necesario llevar a cabo análisis más profundos y detallados, considerando las principales variables que determinan la viabilidad de proyectos solares en sitios específicos. También son necesarios análisis de sensibilidad de dichas variables para orientar la toma de decisión por parte del sector industrial sobre invertir en tecnologías solares térmicas. Entre las variables que influyen en la rentabilidad de un proyecto solar térmico, se han identificado las que mayor impacto tienen, siendo éstas:

- + Precios de los combustibles fósiles
- + Costos de operación y mantenimiento (O&M)
- + Precio de la electricidad
- + Subsidios
- + Precio por m² de Instalación



Fuente: Pexels

4.5 SEGURIDAD ENERGÉTICA

Otro aspecto que también es importante considerar en el diseño de políticas públicas que promuevan el aprovechamiento de la energía solar para procesos industriales es la seguridad energética y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles en la matriz energética nacional. Además, para el sector industrial, un factor clave para su desarrollo es contar con precios competitivos y estables de suministro de energía (calor y electricidad).

En este sentido, la expectativa de crecimiento en el consumo de combustibles fósiles crecerá a un ritmo de 2.2% anual en la industria, con una mayor penetración del gas natural a lo largo del país con una tasa de crecimiento anual de 3.3% entre el periodo 2015-2030 (Tabla 18).

Tabla 18. Consumo de combustibles en el sector industrial, 2015-2030 (miles de barriles diarios de petróleo crudo equivalente)

AÑO	GAS NATURAL	COQUE	GAS LP	DIÉSEL	COMBUSTÓLEO	TOTAL
2015	228.5	58.7	19.5	29.6	10	346.4
2016	247.7	57.3	19.7	29.3	4.6	358.6
2017	299.7	59.1	19	29	3.5	410.3
2018	328.7	63.3	18.5	29.4	2.3	442.3
2019	333.3	61.9	18.8	29.8	1.2	444.9
2020	338.2	62.2	19	30.2	-	449.7
2021	342.6	62.8	19.3	30.7	-	455.4
2022	347	63.5	19.6	31.2	-	461.2
2023	350.1	63.8	20	31.7	-	465.5
2024	352.5	63.5	20.4	32.1	-	468.6
2025	355.1	63.2	20.9	32.6	-	471.8
2026	357.4	63.3	21.4	33.1	-	475.2
2027	359.5	62.7	22	33.7	-	477.8
2028	361	61.7	22.6	34.2	-	479.5
2029	361.8	61	23.4	34.7	-	480.9
2030	361.9	60.1	24.2	35.2	-	481.3
tmca 2015-2030	3.1	0.2	1.5	1.1	n.a.	2.2

Fuente: (SENER, 2016d)

De acuerdo con el Plan Quinquenal de Expansión del Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural 2015–2019 (SENER, Revisión Anual, 2016), entre el periodo 2017–2020 entrarán en operación 12 nuevos proyectos para ampliar y reforzar la red nacional de gasoductos (Figura 12).

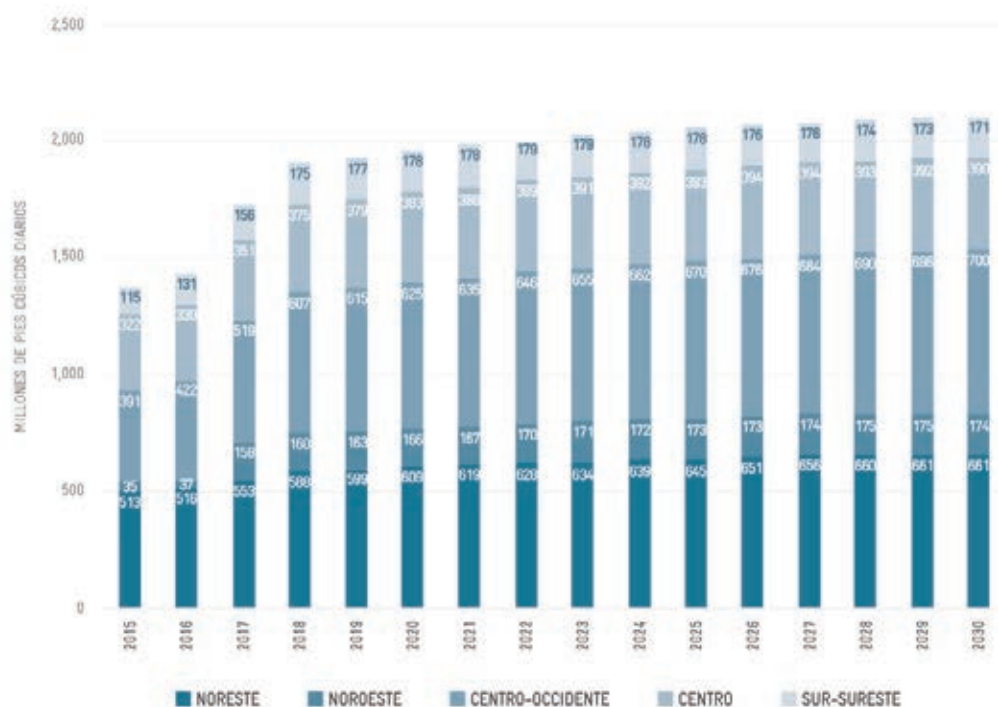
Figura 12. Indicadores de la Transición Energética



Fuente: (SENER, 2016c)

Con estos nuevos proyectos, se aumentará de manera importante el suministro de gas natural en las zonas Centro-Occidente y Noroeste, en donde actualmente se registran los precios más elevados en el país.

Gráfica 24. Balance de gas natural en el sector industrial por región, 2015-2030
(millones de pies cúbicos diarios)



Fuente: (SENER, 2015b)

Nota:

- + Noreste: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas
- + Noroeste: Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora
- + Centro-Occidente: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas
- + Centro: Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Tlaxcala
- + Sur-Sureste: Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Yucatán

No obstante que el gas natural actualmente es el combustible fósil más competitivo para la generación de calor en el sector industrial, basar en gran medida el suministro de uno de los principales sectores de consumo del país en este combustible, puede implicar estar sujeto a los incrementos y a la alta volatilidad de esta fuente de energía hacia el futuro, acotando el portafolio de opciones energéticas en el sector.

México se ha convertido en un país cada vez más deficitario de gas natural, debido a la caída en la producción nacional y al incremento en la demanda. Se espera que, en 2030, la importación de gas natural presente un incremento de 52.4% respecto a 2015, alcanzando un volumen de 5,406.9 millones de pies cúbicos por día (mmpcd), y presentando una tasa media de crecimiento anual (tmca) de 2.8% durante el periodo de 2015-2030. Se considera que, a partir de 2017, la totalidad de las importaciones de gas se realicen mediante ductos, debido a la entrada en operación de la nueva infraestructura de gasoductos en los próximos años.

Una medida para alcanzar costos de operación competitivos en la industria, estabilidad en los precios de la energía térmica y el aumentar la participación de energías renovables en la oferta interna bruta, sería considerar opciones tecnológicas de suministro de calor como la solar térmica en sectores estratégicos como la industria.

Las aplicaciones térmicas de la energía solar surgen como alternativa al consumo de combustibles fósiles. Además de los beneficios económicos, ofrecen otros como la disminución de emisiones de CO₂ a favor de la lucha contra el cambio climático y la mejora de la salud, así como la creación de empleos verdes.





5

MODELOS DE NEGOCIO
Y OPCIONES DE
FINANCIAMIENTO
DISPONIBLES



Algunas de las principales barreras para el despliegue de la instalación de sistemas solares térmicos para procesos industriales, han sido la escasez de modelos de negocio, los altos costos iniciales de inversión y la falta de conocimiento sobre las oportunidades de aplicación en la industria.

Los gerentes de las empresas prefieren realizar inversiones que están más relacionadas con sus negocios principales. Por eso, se han desarrollado diferentes modelos de negocio y de financiamiento que permiten externalizar los riesgos relacionados con esta tecnología (financieros, operativos) a una tercera parte.

5.1 MODELOS DE NEGOCIO

Varios fabricantes europeos y estadounidenses de energía solar térmica han logrado aumentar sus ventas mediante el desarrollo de nuevos modelos de negocio, ofreciendo contratos de suministro de calor o contratos de empresas de servicios energéticos (ESCO – Energy Service Company, por sus siglas en inglés) a través de proveedores llave en mano especializados, para eliminar la barrera de altos costos iniciales para los clientes potenciales, u ofreciendo períodos de financiamiento más amplios para amortizar los bajos precios del petróleo y gas que se han registrado en el mundo recientemente.

Dentro del modelo de negocio tipo ESCO, se diferencian dos principales modelos, el primero se concentra en suministrar calor de proceso por fuentes renovables (ESC– Energy Supply Contracting), mientras que el segundo se enfoca en encontrar potenciales de ahorro de energía (EPC – Energy Performance Contracting)³⁵.

Bajo el modelo ESC, una empresa ESCO suministra un monto de energía predeterminado, como electricidad, calor de proceso o vapor a un cliente industrial durante un cierto tiempo determinado por un contrato.

El modelo EPC se enfoca en suministrar ahorros de energía en comparación con un punto de referencia predefinido. En realidad, estos modelos no se tienen que aplicar estrictamente de esta manera, pues incluso pueden ser adaptados flexiblemente por las partes que intervienen en el contrato (el siguiente subcapítulo dará más detalles).

Otra solución para sortear la barrera de gran inversión inicial son modelos de financiamiento innovadores como por ejemplo el arrendamiento (leasing) de los equipos solar térmicos (GIZ, 2012). En la práctica, se pueden encontrar muchos y diferentes modelos de este tipo.

En los siguientes apartados se describe la lógica de estos tres modelos, ya que sirven como herramientas modulares para simplificar la aplicación de tecnología solar para producir calor para procesos en la industria.

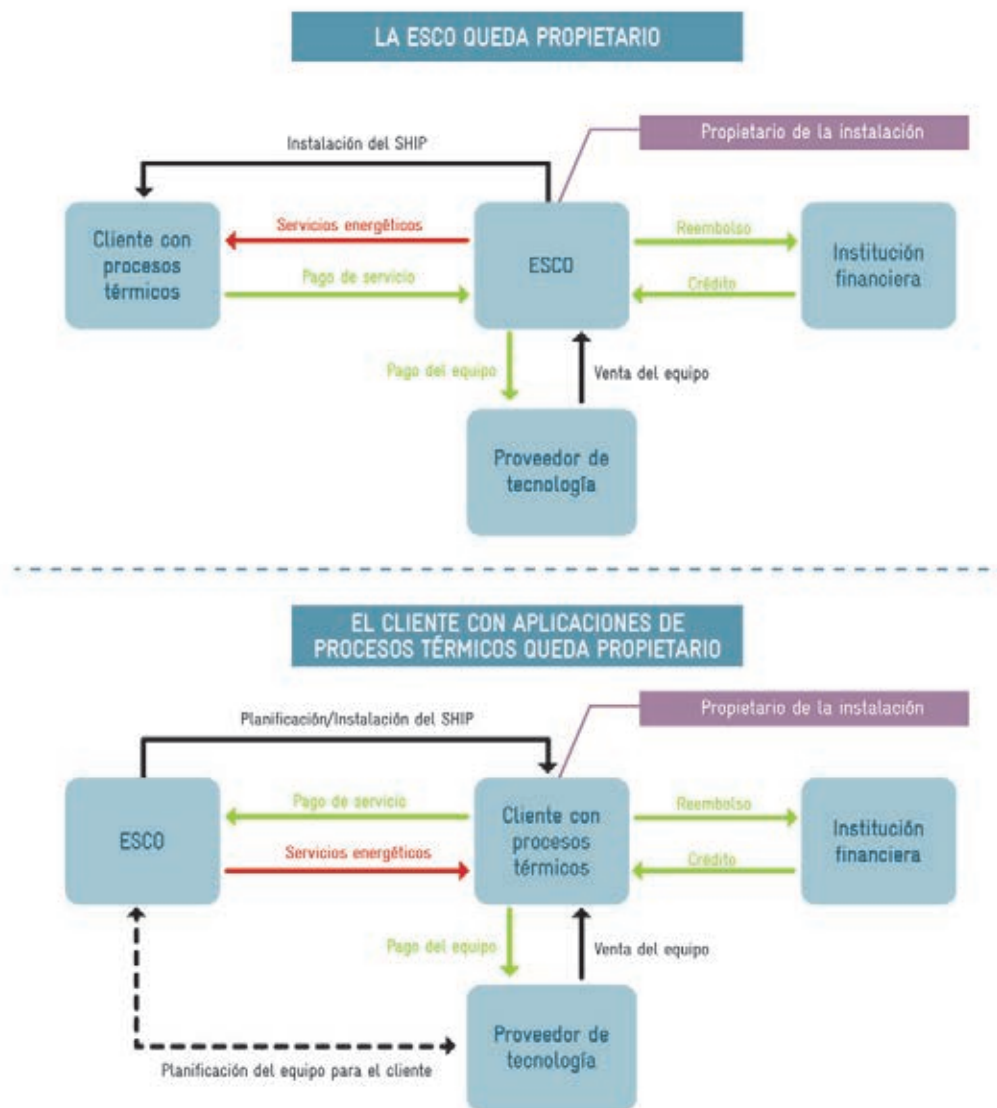
³⁵ Buchinger, Holter, & Blazek, 2012

5.1.1 EMPRESAS DE SERVICIOS ENERGÉTICOS – ESCO

En general, los diferentes modelos con una ESCO significan que una empresa externaliza sus tareas relacionadas con el suministro de energía a una tercera parte. La ESCO instala las tecnologías solares térmicas en el sitio del cliente para suministrar agua caliente, calor de proceso o vapor a los procesos de producción. Los servicios de la ESCO pueden componerse de diferentes elementos como planificación, financiamiento, instalación, operación, mantenimiento de la instalación solar térmica o también la capacitación de los empleados.

La externalización del financiamiento es uno de los incentivos principales para que una empresa contrate los servicios de una ESCO. Pero el servicio de financiamiento no tiene que ser parte del contrato entre las dos partes y también se puede decidir quién será el propietario del equipo, la ESCO o la empresa. Hay algunos modelos donde la propiedad cambia al final del contrato de la ESCO a la empresa contratada (Würtenberger et al., 2012). Una ventaja más de este modelo es que la ESCO ya tiene mucha experiencia con esta tecnología y la empresa que recibe el servicio por medio del contrato no necesita crear conocimiento práctico (know-how) interno para realizar este proyecto. Además, en estas cooperaciones se firma normalmente un acuerdo sobre un periodo de 10 a 15 años, que permite a la empresa contratada fijar sus costos de energía y protegerse contra el aumento de los precios de los energéticos convencionales (BEA, 2012) (Figura 13).

Figura 13. Modelos de ESCO con diferentes regímenes de propiedad

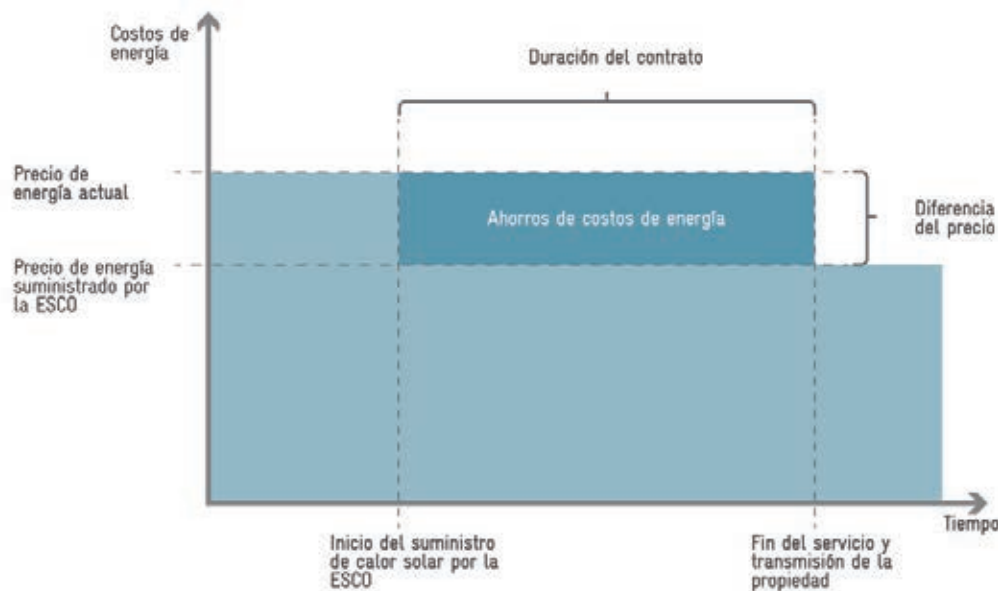


Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1 Contrato por Suministro de Energía (ESC – Energy Supply Contracting)

En este modelo la ESCO establece y opera la instalación solar térmica en el sitio del contratante por cuenta y riesgo propio. La ESCO y la empresa con demanda de calor de proceso entran en un contrato que especifica el monto de energía que será suministrado y la duración de la cooperación. La ESCO es renumerada por la energía suministrada (MWh). El precio está compuesto de los costos de la producción de la energía, del equipo de los servicios y mantenimiento. Este modelo existe en diferentes formas que se diferencian en su profundidad de la cooperación. En algunos modelos la propiedad de la instalación cambia de la ESCO a la empresa con la demanda de calor al final de la duración del contrato. En general, las condiciones del contrato son flexibles y pueden ser negociadas por las dos partes. Finalmente, es una decisión quién toma los diferentes riesgos que a su vez tiene claramente efectos a la remuneración de la ESCO. Además de la ventaja de evitar grandes inversiones, la empresa contratada obtiene la seguridad de planificación sobre sus precios energéticos en el futuro (Würtenberger et al., 2012) (Figura 14).

Figura 14. Desarrollo de los costos de energía con transmisión de la propiedad al fin del contrato

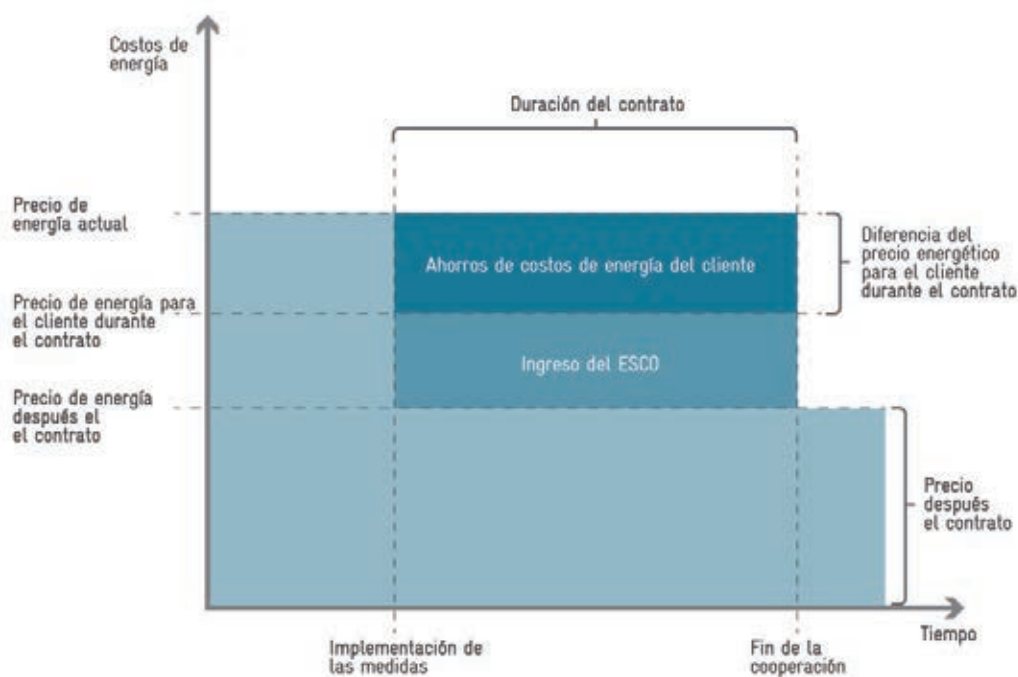


Fuente: Elaboración propia

5.1.1.2 Contrato por Desempeño (ESP – Energy Performance Contracting)

La diferencia principal entre este modelo y el mencionado anteriormente, es la manera de la remuneración. Una ESCO operando por el modelo ESP, garantiza a la empresa contratada una reducción de sus costos energéticos en comparación con sus costos históricos. La remuneración del servicio ESCO es flexible y depende del éxito de sus acciones. Por ejemplo, la ESCO integra una instalación solar térmica al proceso de su cliente para suministrar calor de proceso, la reducción de costos energéticos resultante es dividido por una cuota predefinida entre la ESCO y el cliente (BEA, 2012). La ventaja de este modelo es que la ESCO tiene interés de reducir al máximo los costos energéticos de su cliente para aumentar sus ganancias. En muchos casos, este tipo de cooperación no se limita a una medida como una instalación solar térmica, sino que incluye más medidas de eficiencia energética implantadas por la ESCO. Este modelo también es abierto para adopciones que pueden ser determinados por ambas partes del contrato (Würtenberger et al., 2012).

Figura 15. Desarrollo de los costos de energía durante un contrato de desempeño



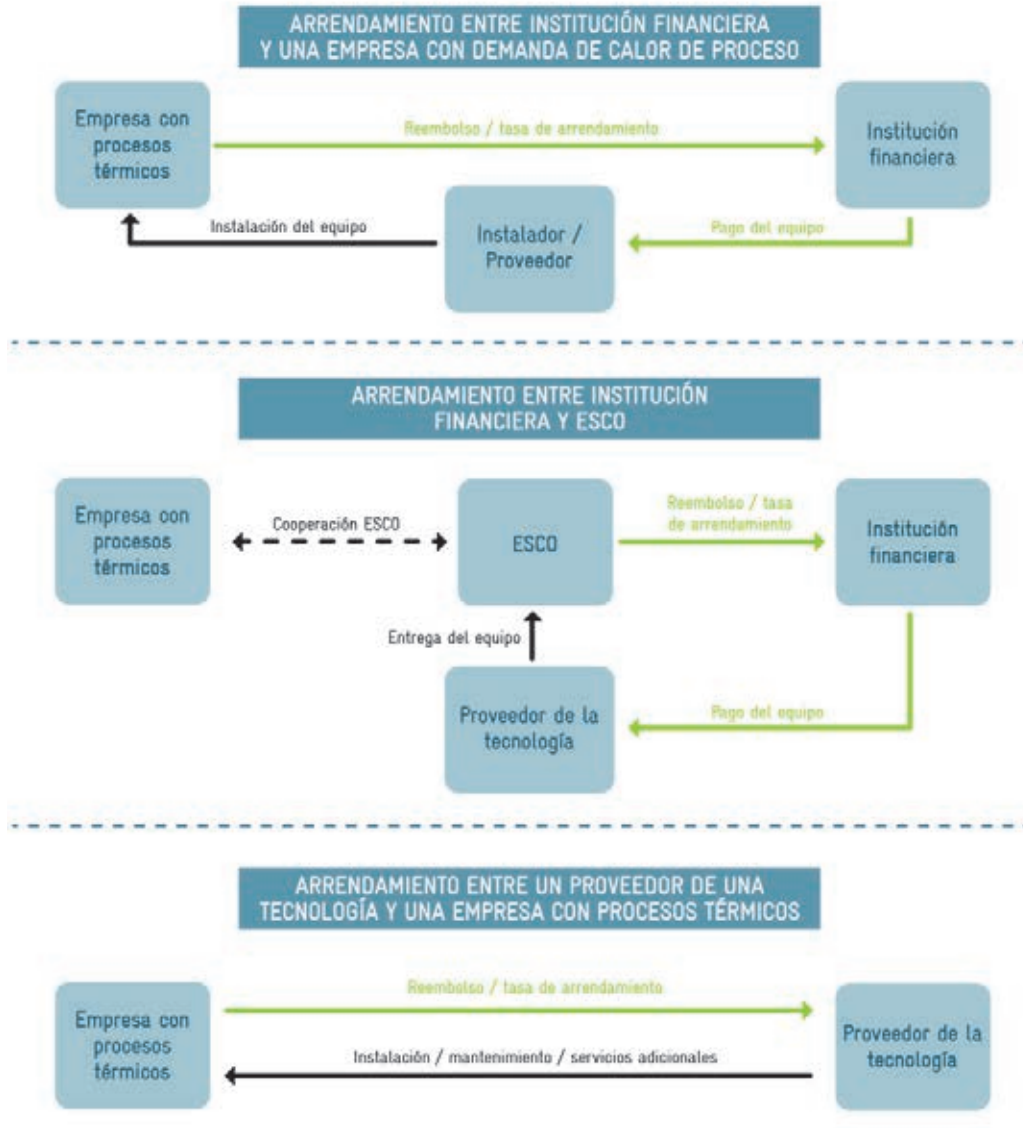
Fuente: Elaboración propia

5.1.2 CONTRATO POR ARRENDAMIENTO (LEASING)

El modelo de contrato por arrendamiento o leasing es una forma que existe para diferentes participantes y regímenes de propiedad. Este modelo, por ejemplo, puede ser aplicado por una ESCO que esté limitada en sus capacidades financieras, pero que es capaz de llevar a cabo un contrato de arrendamiento con una institución financiera. Además, existe la posibilidad de realizar un contrato directamente entre la empresa y un proveedor de la tecnología solar térmica que quiere superar la barrera de grandes inversiones iniciales relacionadas con su producto.

Aparte de estas diferencias, se puede distinguir un punto clave más en los modelos de arrendamiento aplicados en el área de equipos de energías renovables. Se hace una distinción entre el arrendamiento financiero y el arrendamiento operativo (Figura 16).

Figura 16. Diferentes modelos de arrendamiento



Fuente: Elaboración propia

Los dos modelos se diferencian desde el punto de vista de quien es el propietario de la instalación durante la duración del contrato. En general, el arrendador (p. ej. Institución financiera, proveedor de la tecnología) mantiene la propiedad de la instalación y también lleva consigo el riesgo económico del daño material o de la disminución de valor del equipo. Es posible hacer un contrato, el cual implica el cambio de la propiedad al fin de su duración. La elección del modelo de propiedad también tiene efectos sobre cuestiones fiscales y puede implicar diferentes métodos a la contabilidad de la empresa, por ejemplo, diferentes modelos de depreciación (Würtenberger *et al.*, 2012).



5.2 OPCIONES DE FINANCIAMIENTO EN MÉXICO

5.2.1 OPCIONES DE FINANCIAMIENTO CON EL APOYO DE RECURSOS PÚBLICOS

Actualmente en México existen varias instituciones que apoyan el desarrollo de proyectos solares térmicos en diversos segmentos de negocios, apoyados principalmente por la banca de desarrollo y fideicomisos públicos. Los giros de negocio apoyados son las MiPyMEs y agronegocios, sin embargo, también pueden ser aplicables al sector industrial en México (Tabla 19).

Tabla 19. Programas públicos de financiamiento y apoyo a sistemas solares térmicos en México

PROGRAMA	SEGMENTO DE MERCADO	TIPO DE APOYO	INSTITUCIÓN IMPLEMENTADORA	INSTITUCIONES PARTICIPANTES
Diversos programas de apoyo a la agricultura y ganadería, ejecutados por FIRCO ³⁶	Agronegocios	<ul style="list-style-type: none"> - Apoyo directo y financiamiento - Hasta el 50% del costo del sistema, sin rebasar los \$500,000.00 M.N. - Periodos cortos de recuperación de inversión (3 a 5 años en la mayoría de los casos) 	FIRCO	Proveedores de tecnologías
FONAGA VERDE (Programa de Eficiencia Energética)	Empresas Agroindustriales	Garantías para apoyar proyectos de inversión	FIRA	Instituciones financieras, afianzadoras, proveedores de tecnologías
EcoCrédito Empresarial Masivo	MiPyMEs (sustitución o adquisición de 8 tecnologías predefinidas ³⁷)	Crédito simple con tasa de interés preferencial para adquirir calentadores solares de agua	FIDE	SENER, SE, NAFIN, CFE, FIDE, proveedores de tecnologías

³⁶ TIF, Bioeconomía, Bioenergía y PROVAR.

³⁷ Tecnologías de sustitución: refrigeradores comerciales, cámaras de refrigeración, equipos de aire acondicionado (de 1 a 10 toneladas de refrigeración), motores eléctricos. Tecnologías de adquisición: iluminación (participan luminarias tipo lineal T-5 y T-8, diodos emisores de luz (LEDs) e inducción magnética), subestaciones eléctricas, bancos de capacitores, calentadores solares de agua.

EcoCrédito Empresarial Individualizado	MiPyMEs y personas físicas con actividad empresarial (proyectos integrales de eficiencia energética y energías renovables)	<ul style="list-style-type: none"> - Proyecto energético que identifica potenciales ahorros - Crédito simple con tasa de interés preferencial (hasta 10.5% fija) - Crédito hasta 15 millones de pesos - Plazo hasta 8 años 	NAFIN	Operará con Intermediarios Financieros (se requiere que el banco realice análisis que incluya flujos de ahorro futuro generados en el cálculo de la capacidad de endeudamiento), proveedores de tecnologías
Mecanismo financiero en la Península de Yucatán	Sector servicios: hoteles	<ul style="list-style-type: none"> - Crédito simple para adquisición e instalación de sistemas de calentamiento solar. - Tasa tope TIIE + 6 puntos (hasta 8 millones de pesos) - Tasa tope TIIE + 5 puntos (de 8 hasta 15 millones de pesos). - Plazo hasta 5 años. 	Conuee	PNUD, Conuee, Bancomext, BanBajío, proveedores de tecnologías

Fuente: (SENER, 2016d)

5.2.2 OPCIONES DE FINANCIAMIENTO DE EMPRESAS PRIVADAS Y LA BANCA COMERCIAL

Además de los programas antes mencionados, el sector privado ha incursionado en esquemas de financiamiento para este tipo de proyectos.

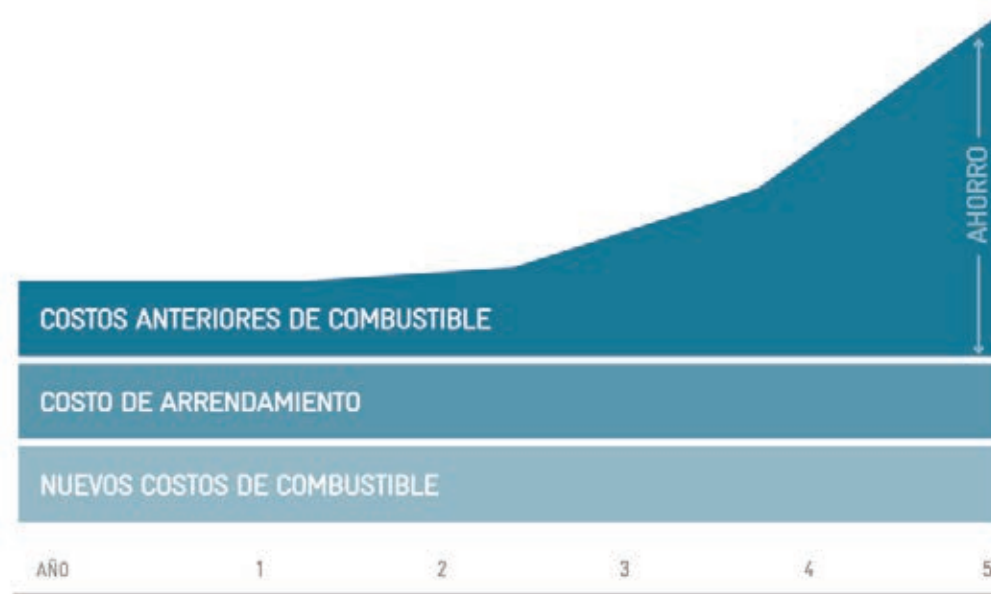
La empresa mexicana Inventive Power ofrece, por ejemplo, esquemas de arrendamiento de tecnología solar, en los cuales los clientes pueden acceder a sistemas solares térmicos sin tener que desembolsar una inversión inicial. Los esquemas de arrendamiento se diseñan según el proyecto con el tiempo de duración más adecuado y con pagos fijos. Estos son otorgados mediante socios financieros.

Al finalizar el periodo de arrendamiento el cliente es dueño del 100% del sistema y de los ahorros generados.

Entre los beneficios de arrendar un proyecto están:

- + Tener ahorros en los costos de energía desde el primer día en que sea instalado el sistema, minimizando la inversión inicial.
- + El cliente no necesita asignar un presupuesto de capital para adquirir un sistema solar, ya que el pago del arrendamiento se cubre con los ahorros generados.
- + Al final del periodo de arrendamiento, el sistema es 100% propiedad del cliente.
- + Todos los pagos del arrendamiento son 100% deducibles.

Figura 17. Esquema de arrendamiento para sistemas solares térmicos en industria/comercio



Fuente: (Power, 2017)

Por parte de la banca comercial, existen productos financieros como el diseñado por Banamex denominado “Crédito Negocio Sustentable”, que promueven el uso de tecnología sustentable entre las pequeñas y medianas empresas. A través de este crédito, las PyMEs pueden destinar recursos para proyectos enfocados en energía, energía renovable y sustentabilidad, incluidos sistemas solares térmicos.

Bajo las condiciones actuales de financiamiento disponibles en la banca comercial en México, se estima que el retorno de inversión se ubica entre 1 a 6 años, dependiendo del tipo de aplicación:

- + Calentamiento de albercas: 1 a 2 años
- + Agua caliente para hoteles, clubes: 1.5 a 4 años.
- + Agua caliente para procesos industriales: 2 a 6 años

Los sectores financieros mexicano e internacional disponen de fondos de inversión para proyectos de ER y EE, sin embargo, existe gran desconocimiento respecto a los vehículos de inversión y modelos de negocios aplicables para los potenciales inversionistas. Del lado de los consumidores finales (ciudadanos, empresas, municipios, estados, etc.) existe cada vez mayor preocupación por acceder a fuentes limpias y accesibles de energía, evitar la volatilidad de los precios de combustibles fósiles ante las nuevas circunstancias económicas y de política hacendaria de reducción de subsidios a la energía en el país.

También existe cada vez más interés por parte de las entidades financieras nacionales de ampliar su portafolio de inversión a energías más limpias, e interés de los usuarios de diversos sectores (residencial, comercial, servicios públicos, industria, transporte) en adquirir tecnologías renovables y energéticamente eficientes. No obstante, existe gran desconocimiento de los fondos privados de financiamiento disponibles, así como de los modelos de negocio y vehículos de inversión que podrían implementar los usuarios finales y nuevos inversionistas del sector público, privado y social.

Para orientar los portafolios de inversión hacia el financiamiento de proyectos sustentables, el 31 de octubre de 2016 el sector financiero mexicano (fondos de ahorro para el retiro (afores), aseguradoras, asociaciones, banca comercial, banca

de desarrollo y multilateral, emisoras, fondos de inversión y otras instituciones)³⁸ constituyó el Consejo Consultivo de Finanzas Climáticas, el cual está auspiciado por Climate Bonds Initiative, organización internacional sin fines de lucro enfocada en los inversionistas para movilizar el mercado de bonos para soluciones de cambio climático.

No obstante que existe interés de la banca, de los usuarios finales y de los desarrolladores de proyectos con esta tecnología, aún hace falta la creación de plataformas de coordinación e intercambio de información a través de las cuales los actores clave puedan vincularse y dar pauta al despliegue del calor solar para procesos industriales en el país.



Fuente: Solar Heat Europe

5.3 INCENTIVOS FISCALES

5.3.1 INCENTIVOS FISCALES A NIVEL FEDERAL

Además de las opciones puras de financiamiento, existe otro instrumento de política fiscal para la promoción de energías renovables que ha fomentado el despliegue de la energía solar térmica; se trata de la depreciación acelerada para inversiones en energías renovables y la cogeneración eficiente (esta última a partir de 2014) (Ley del Impuesto Sobre la Renta, DOF, 30/11/2016). Este instrumento permite depreciar el 100% de las inversiones en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables y de la cogeneración eficiente aplicable, siempre que la maquinaria y equipos se encuentren en operación durante un periodo mínimo de cinco años.

Además de la depreciación acelerada de activos fijos, existe la opción bajo la regulación mexicana, de que las empresas que acceden a esquemas de arrendamiento puro de este tipo de sistemas solares puedan deducir los impuestos mensualmente por el pago de facturas.

5.3.2 INCENTIVOS FISCALES A NIVEL LOCAL

a) Incentivo fiscal en el Estado de Morelos

Al nivel local, se realizan esfuerzos para promover el uso de la energía solar y de tecnologías amigables con el medio ambiente. A partir del año 2016, el Estado de Morelos otorga un estímulo fiscal a personas físicas o morales que sustituyan el consumo de combustibles fósiles por energía solar térmica para el calentamiento de agua en servicios de hospedaje, parques acuáticos y balnearios. El estímulo fiscal consistente en una cantidad equivalente al 100% del

³⁸ Asociación de Bancos de México (ABM), la Asociación Mexicana de Administradoras de Fondos para el Retiro (AMAFORE), la Asociación Mexicana de Instituciones Bursátiles (AMIB), la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS), la Asociación Mexicana de Asesores Independientes de Inversiones (AMAI), PENSIONISSSTE, Santander Asset Management, Seguros Monterrey New York Life, HSBC, BBVA Bancomer, Nacional Financiera, la Corporación Interamericana de Inversiones (CII) miembro del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Corporación Financiera Internacional del Banco Mundial (CFI), HR Ratings y EY México.

Impuesto sobre la Prestación de Servicios de Hospedaje³⁹ y al 100% del Impuesto sobre los Servicios de Parques Acuáticos y Balnearios (Morelos, 2016)⁴⁰.

b) Incentivo fiscal en el Municipio de Zapopan, Jalisco

Otro caso de referencia es el municipio de Zapopan, ubicado en Estado de Jalisco. A partir del año 2017 se otorga un incentivo fiscal sobre el costo de la licencia de edificación (10% de descuento), a las edificaciones que incorporen tecnologías sustentables, incluidos los calentadores solares de agua y celdas fotovoltaicas⁴¹.

Recientemente, en 2018 el municipio de Zapopan ha ampliado los incentivos fiscales a los propietarios de inmuebles destinados a casa habitación, quienes gozan de la reducción 25% en impuesto predial si adaptan sus inmuebles con tecnologías amigables con el medio ambiente, en dónde se incluyen calentadores solares de agua, celdas fotovoltaicas y sistemas para la captación, filtración, almacenamiento y uso de aguas pluviales. Este impuesto no aplica a condominios verticales⁴².



5.4 LEY DE CALOR CON ENERGÍAS RENOVABLES EN ALEMANIA Y ESTRATEGIA DE FINANCIAMIENTO

A nivel internacional existen varias iniciativas para impulsar el aprovechamiento de calor a través de energías renovables; un ejemplo es el caso de la transición energética (Energiewende, en alemán) en Alemania. El país ha decidido cubrir el abastecimiento energético principalmente con energías renovables. También apuesta por gestionar la energía de manera cada vez más eficiente, realizando de este modo una contribución importante a la protección del clima.

El éxito de transición energética también depende de la reducción de la energía necesaria para la calefacción, la refrigeración y el agua caliente en los edificios, así como en la medida en que la energía renovable cubre la demanda restante.

En 2009, el Gobierno alemán introdujo la “Ley de calor con energías renovables” (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz). Los objetivos de la ley son la protección ambiental, la reducción de la dependencia de importaciones de energéticos, un desarrollo sustentable del sector energético y la promoción de tecnologías renovables para la generación de calor

³⁹ El impuesto sobre la prestación de servicios de hospedaje en el Estado de Morelos es calculado aplicando la tasa del 3.75% al total del valor de las cantidades recibidas por concepto de pago o contraprestación por servicios de hospedaje.

⁴⁰ Acuerdo por el que se otorga un estímulo fiscal a las personas físicas o morales que presten en la entidad los servicios que son objeto del impuesto sobre la prestación de servicio de hospedaje, así como los del impuesto sobre los servicios de y balnearios, que sustituyan el consumo de combustibles fósiles por energía solar térmica para el calentamiento de agua. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. 08 de agosto de 2016.

⁴¹ Ley de Ingresos del Municipio de Zapopan, Jalisco, para el ejercicio fiscal del año 2017.

⁴² Ley de Ingresos del Municipio de Zapopan, Jalisco, para el ejercicio fiscal del año 2018.

y frío. Además, la ley tiene el objetivo concreto de incrementar la cuota de energías renovables en la generación de calor y frío a 14% hasta el año 2020.

La generación de calor representa más de la mitad del consumo final de energía en Alemania. En 2015, las energías renovables contribuyeron con el 13.2% de la demanda de calor y refrigeración. Comparado con el año anterior (2014: 12.5%), refleja un aumento en el uso de energías renovables para este fin.

Dentro del mercado de la calefacción, el uso de las energías renovables está regulada por la Ley de calor con energías renovables. Bajo esta ley, los constructores de nuevos edificios deben generar un porcentaje de sus necesidades de calefacción a partir de fuentes renovables de energía, para llevar a cabo ciertas medidas compensatorias tales como: la instalación de un aislamiento adicional, el uso de sistemas de cogeneración o la calefacción urbana.

Además de la Ley de calor con energías renovables, el Gobierno Federal alemán ha establecido el Programa de Incentivos de Mercado (MAP), para aumentar la proporción de calor que se genera a partir de fuentes renovables. Bajo este programa, se proporciona ayuda principalmente a edificios para promover el uso de la tecnología con energías renovables en el segmento de la calefacción, por ejemplo, con instalaciones de energía solar térmica, sistemas de calefacción de pellets de madera y bombas de calor eficientes.

Para cumplir con estas metas, se han introducidos dos herramientas de promoción:

- 1) La Oficina Federal de Economía y Control de Exportación (BAFA) da subsidios y apoyos directos a las inversiones de tecnología limpia
- 2) KfW – el Banco de Desarrollo alemán– promueve con bajas tasas de interés los créditos para inversiones en tecnología limpia para la generación de calor

5.4.1 BAFA – PROGRAMA DE INCENTIVOS DE MERCADO (MAP) PARA CALENTAMIENTO A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES

La herramienta de apoyo cubre hasta 50% de los costos de inversión netos para una instalación nueva de una planta de calentadores solares o para una ampliación de una planta ya existente. El apoyo incluye también costos de planificación, los costos para integrar la planta al proceso industrial y la tecnología de medición.

TIPOS DE USO:

- + Suministro de calor de procesos para las siguientes aplicaciones:
 - procesos de fabricación, de refinación, de tratamiento posterior
 - servicios de suministro de calor (modelo ESCO)
- + Plantas que son elegibles para recibir el apoyo, también pueden ser usadas para el calentamiento de agua o espacio, pero la mayoría del calor solar anual tiene que ser usado para suministrar calor a los procesos

CONDICIONES PARA EL APOYO

- + Suministro de calor mayoritariamente para procesos industriales
- + Área bruta de los calentadores $\geq 20 \text{ m}^2$
- + Para sistemas con un área bruta de colectores solares $\geq 100 \text{ m}^2$, se requiere de un dispositivo de medición para controlar la producción del calor útil final y detección de errores del sistema

5.4.2 KfW – PROGRAMA ENERGÍAS RENOVABLES “PREMIUM”

El Banco de Desarrollo alemán KfW apoya al Gobierno Federal alemán en la consecución de sus objetivos de política de desarrollo y cooperación internacional. Entre otras funciones, otorga financiamiento para inversiones, proyectos de empresas alemanas y europeas, empresas municipales e instituciones públicas y progreso económico y social en países en desarrollo, así como ofrece a sus clientes servicios de asesoramiento.

El Banco KfW se refinancia con el mercado de capital y se beneficia de la garantía del gobierno federal de Alemania, que le permiten apoyar proyectos o programas para que los bancos comerciales puedan ofrecer créditos con una tasa de interés más baja.

En este contexto, KfW desarrolló el Programa Energías Renovables "Premium", con el objetivo de apoyar con bajas tasas de interés, el financiamiento de grandes plantas para producción de calor a través de energías renovables. Las instalaciones deben instalarse en Alemania y deben estar en funcionamiento al menos durante 7 años.

PROYECTOS ELEGIBLES PARA EL PROGRAMA

1. La instalación y extensión de plantas de colectores solares con más de 40 m²
2. Plantas de biomasa para la combustión de biomasa para el uso térmico
3. Plantas de cogeneración (de biomasa) con una capacidad térmica mayor a 100 kW
4. Redes de calor alimentadas con energía renovable: Instalación o extensión de redes de calor
5. Almacenamientos térmicos con más de 10 m³ si la mayor parte del calor viene de fuentes renovables
6. Tubos de biogás con una longitud de 300 m, si el gas es refinado a la calidad de gas natural, si el gas sirve para la cogeneración o es usado como carburante
7. Bombas de calor eficiente con una capacidad de calor mayor a 100 kW
8. Plantas geotérmicas (profundidad de 400 m, una temperatura de 20 °C y una capacidad geotérmica de al menos 0,3 MW_e):

5.4.3 KfW EN MÉXICO

El banco de desarrollo KfW cuenta con oficina de representación en México, dedicada al financiamiento internacional de exportaciones y proyectos, así como la cooperación financiera entre México y Alemania.

Como resultado de la cooperación, KfW ha apoyado la implementación de proyectos de eficiencia energética y energías renovables en México. En particular existen dos programas que apoyan la incorporación de tecnologías amigables con el medio ambiente, los cuales incluyen calentadores solares de agua.

El primer programa, denominado "EcoCrédito Empresarial Masivo", se enfoca en promover la competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas y reducir sus costos de operación a través del ahorro y uso eficiente de la energía. Este programa cuenta con el apoyo de KfW con una línea de crédito de 50 millones de Euros aprobada en 2015. Con el apoyo financiero, el programa EcoCrédito Empresarial Masivo financia la sustitución o adquisición de varias tecnologías desde refrigeradores, equipos de aire acondicionado, motores eléctricos, iluminación, bancos de capacitores, subestaciones eléctricas y calentadores solares de agua.

Otro programa apoyado por KfW se denomina "EcoCasa", a través del cual se financian créditos puente a desarrolladores para construir viviendas asequibles y bajas en emisiones de carbono (CO₂), ayudando a reducir el consumo y el gasto de energía de las familias mexicanas de bajos y medianos ingresos.

La introducción de medidas de sustentabilidad en el sector vivienda, aprovecha las estructuras y mecanismos existentes de financiamiento, alineando incentivos mediante financiamiento preferencial por un periodo máximo de 3 años a los desarrolladores. Una de las tecnologías que se puede incluir en las viviendas, son los calentadores solares (planos o de tubo evacuados).



5.5 COOPERACIÓN TÉCNICA Y CIENTÍFICA INTERNACIONAL

En el ámbito de la cooperación internacional para promover el calor solar en procesos industriales, México inició actividades con Alemania en esta materia a partir de 2015, con el acuerdo de dos proyectos específicos: Sol Vapor y Solar Payback.

a) PROYECTO SOL VAPOR

El proyecto que lleva por título “Integración de Colectores Solares para generación de vapor en procesos Industriales” es un proyecto financiado por CONACyT y el Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania (BMBF). El proyecto está desarrollado a través de un consorcio conformado por las empresas Energías Saubere, S.A. de C.V. e Industrial Solar GmbH. Estas dos empresas participan como coordinadoras y representan a México y a Alemania respectivamente. De igual manera, como elementos institucionales, se cuenta con la participación del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) de la SEP, representando a México y del Instituto de Investigación de Sistemas Energéticos Solares (Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, FHG ISE) representando a Alemania.

Los objetivos principales del proyecto fueron el análisis del mercado mexicano, mediante un estudio documental complementado con encuestas y visitas a empresas, para identificar las áreas de oportunidad de aplicación de vapor solar industrial y generar información sobre una red de usuarios potenciales en la industria; así como desarrollar modelos de simulación y optimización de diferentes esquemas de integración de vapor solar para procesos industriales, con diferentes tecnologías de colectores solares y planear la realización de proyectos de demostración.

El proyecto se realizó en dos etapas. La etapa 1 incluyó: a) llevar a cabo talleres de trabajo en México sobre las tecnologías de colectores solares para generación de vapor en procesos industriales, b) emprender un estudio para estimar el potencial de generación de vapor en la industria mexicana mediante una revisión documental, aplicación de cuestionarios y visitas a empresas, c) elaborar un directorio de una red de usuarios potenciales de calor solar, y d) iniciar el desarrollo de modelos de simulación para tres diferentes esquemas de integración de vapor solar utilizando varias tecnologías de colectores.

La etapa 2 por su parte incluyó: a) verificar los modelos de simulación de tecnologías solares acopladas a la generación de vapor y comparar los diferentes esquemas de integración, b) desarrollar una herramienta simplificada de cálculo que permita la optimización y dimensionamiento de procesos de integración de vapor solar de acuerdo con la demanda y ubicación de los usuarios, y c) discutir la planeación de proyectos demostrativos. El proyecto tuvo una duración de dos años (2015 al 2017).

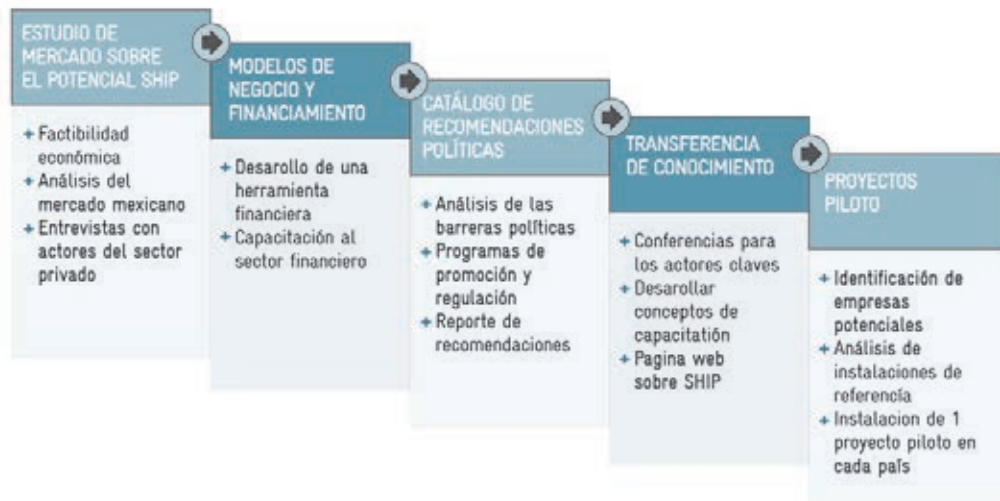
b) PROYECTO SOLAR PAYBACK

El proyecto Solar Payback es apoyado por la “Iniciativa Internacional de Protección del Clima” (IKI por sus siglas en alemán) del BMU del Gobierno Federal de Alemania, para aumentar el conocimiento sobre la factibilidad económica y técnica de la tecnología termosolar para generar calor de proceso en la industria. El proyecto se desarrolla simultáneamente en México, India, Brasil y Sudáfrica, debido a la irradiación solar favorable y al emergente sector industrial en estos países. En total, el presupuesto acumulado es de 2.96 millones de Euros para todos los países asociados, con una duración de tres años hasta finales de 2019. La realización del proyecto está dirigida por la Asociación Solar Alemana (BSW – Bundesverband Solarwirtschaft), el Instituto Fraunhofer ISE, la Sociedad de Inversión y Desarrollo DEG y la agencia de investigación y comunicación Solrico.

En México, se implementan las diferentes líneas de trabajo en cooperación con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y la Cámara Mexicano-Alemana de Comercio e Industria (CAMEXA). El objetivo de largo plazo del proyecto Solar Payback, es la sustitución de las energías fósiles en los procesos industriales por una amplia aplicación de la tecnología termosolar y en consecuencia la reducción de las emisiones de CO₂. Las medidas que se planean introducir durante el proyecto están dirigidas a actores clave del mercado mexicano:

- + Responsables de la toma de decisiones en política y administración
- + Bancos y otros proveedores de servicios financieros
- + Industria y proveedores de la tecnología termosolar
- + Desarrolladores de proyectos, agencias de ingeniería y planificación, ESCOs
- + Usuarios finales, especialmente las PyMEs con alto potencial debido a sus rangos de temperatura de proceso favorables

Figura 18. Líneas de trabajo, Proyecto Solar Payback



Fuente: Elaboración propia a partir de información del (Solar Payback, 2017)

Para promover y facilitar la penetración en el mercado, es necesario que el proyecto enfoque sus líneas de trabajo alrededor de algunas barreras identificadas en relación con la aplicación en procesos industriales:

1. La escasez de conocimientos, herramientas, estándares y regulaciones relacionadas con la utilización del calor solar en los procesos industriales.
2. La falta de diferentes modelos de negocio y de financiamiento para reducir el riesgo y las grandes inversiones iniciales por el cliente.
3. El desconocimiento de los usuarios finales sobre la tecnología y las posibilidades de aplicación en sus propios procesos.

En total, son cinco diferentes líneas de trabajo (Figura 18) que apoyan a superar las diferentes barreras. Durante los años 2017 y 2018 el objetivo será elaborar un análisis del mercado, de los diferentes modelos de negocio y financiamiento, y además la promoción de diferentes opciones de política y de regulación. Para el segundo semestre de 2018 y el año 2019, las actividades se enfocarán en la creación de capacidades técnicas y financieras, la difusión de informaciones y finalmente en la instalación de un proyecto demostrativo. Respecto a la instalación del proyecto demostrativo, se lleva a cabo un proceso de identificación de candidatos para seleccionar diez empresas mexicanas que tienen procesos con alto potencial para la integración de calor termosolar. Después de un diagnóstico energético, ejecutado por el Instituto Fraunhofer ISE, se escogerá una empresa dónde se instalará el proyecto demostrativo, el cual contará con apoyo financiero para absorber parte de la inversión total, a través de los recursos IKI asignados al proyecto Solar Payback.





6

CONCLUSIONES



Las aplicaciones térmicas de la energía solar en el sector industrial surgen como alternativa al alto consumo de combustibles fósiles, ofreciendo ahorros económicos y precios estables de suministro de calor. Además, tienen el potencial de brindar beneficios ambientales por la disminución de emisiones de CO₂, y la creación de empleos verdes a nivel local, entre otros beneficios.

México cuenta con un atractivo potencial para aprovechar la energía solar térmica, de manera técnica y económicamente factible, de alrededor 9 GW_t entre el periodo 2010-2030 de los cuales 7 GW_t se localizan en el sector de la baja temperatura, en procesos típicos de la industria textil, alimentos y algunos procesos químicos. El resto del potencial de utilizar calor solar en la industria, es decir 2 GW_t, se encuentra en procesos de media temperatura, donde se requieren sistemas de concentración, principalmente en la fabricación de productos químicos.

Bajo esta perspectiva, hacia el año 2030, el aprovechamiento de la energía solar con aplicaciones térmicas industriales representa una oportunidad para acelerar la transición energética hacia fuentes renovables para satisfacer la demanda de calor de baja y media temperatura en el país.

Desde el punto de vista económico, los costos nivelados de energía térmica que se estiman actualmente para el sector industrial en México se ubican en el rango de 200 a 973 pesos por GJ de calor generado, resultando el gas natural el más competitivo y en el otro extremo el diésel como la opción más cara disponible en el mercado.

En el mediano plazo, se prevé un aumento en el precio de los petrolíferos derivados del repunte en el precio internacional del barril de petróleo, así como un ligero aumento en el precio del gas natural. En el largo plazo, el precio del gas natural en particular, se espera que duplique su precio entre el periodo de 2020 a 2040. Este panorama presionará los costos de energía al alza en el futuro.

En contraste, con base en la disponibilidad de recursos solares en México, se estima de manera general que los costos nivelados de energía para proyectos solares térmicos actualmente se ubican en el rango de 130 a 285 pesos por GJ, entre las zonas que cuentan con altos niveles de irradiación y las zonas menos favorecidas con la disponibilidad del recurso solar. Esta situación representa una oportunidad para que el sector industrial explore opciones de sustitución de combustibles fósiles para el suministro de calor en sus procesos.

A pesar del potencial disponible en México, aún se requiere generar espacios de discusión y consenso que contribuyan a reducir las barreras existentes, que permitan una mejor comprensión de las diferentes tecnologías solares, metodologías adecuadas para determinar la viabilidad técnica y económica del calor solar, opciones de nuevos modelos de negocio y mejorar las regulaciones en el ámbito energético y ambiental.

En México se llevan a cabo acciones con diferentes grados de madurez, las cuales se encuentran dentro del ámbito

regulatorio, en capacidades técnicas, financiamiento y modelos de negocio, así como en el desarrollo tecnológico principalmente; sin embargo, estas actividades hasta ahora implementan de manera independiente.

Derivado de los resultados del presente estudio, una de las principales conclusiones y recomendaciones es la necesidad de promover sinergias entre el sector público, el sector privado y el sector académico que permitan acelerar la transición hacia el aprovechamiento de las energías renovables de manera competitiva en el país. Principalmente, se sugiere implementar acciones coordinadas con un enfoque integral para eliminar las barreras ya mencionadas en el corto y mediano plazo.

Como alternativa viable para eliminar las barreras, se plantea el establecimiento de una plataforma interinstitucional donde interactúen actores del sector público, privado (usuarios finales del sector industrial), académico, financiero, proveedores de servicios y proveedores de tecnología relacionados y/o interesados en la generación de calor solar para procesos industriales.

En agosto de 2017, la Conuee, ANES y el Programa DKTI Solar de la GIZ, acordaron el diseño y establecimiento de la "Iniciativa de Calor Solar", teniendo como objetivo general mejorar las condiciones marco del aprovechamiento de la energía solar con aplicaciones térmicas en procesos industriales y sectores de consumo final en el país. De esta manera, y atendiendo a las barreras aún existentes, se podrá lograr una promoción y difusión efectiva de esta aplicación, lo que conllevará a incrementar la capacidad instalada de sistemas solares térmicos de baja y media temperatura, aumentando la participación de energía renovable en la oferta interna bruta y la disminución de emisiones de CO₂ del sector industrial.

Algunos de los objetivos que la Iniciativa son los siguientes:

- + Llevar a cabo estudios específicos del potencial de calor solar y la demanda en subsectores industriales, que permita disponer de información útil para los tomadores de decisión y actores clave
- + Sensibilización de los actores clave sobre los beneficios del calor solar y el conocimiento sobre la evaluación de proyectos, para su posterior involucramiento en etapas posteriores del desarrollo del mercado.
- + Documentar casos de éxito y lecciones aprendidas sobre proyectos implementados en el país, sobre el desempeño y los efectos (en términos de sustitución de los combustibles fósiles, la reducción de emisiones de GEI, los beneficios para la economía local, etc.).
- + Mejorar bases de datos que permitan monitorear el progreso de la energía solar térmica y la contribución de los diferentes sectores en la matriz energética.
- + Identificar oportunidades de inversión para proyectos de calor solar, con el fin de aumentar la participación de energía renovables en la matriz energética.
- + Identificar modelos de negocio novedosos y atractivos para el sector industrial, así como mecanismos de financiamiento adecuados para acelerar el volumen de inversiones en el sector.
- + Desarrollar instrumentos de fomento para apoyar diferentes etapas en la cadena de valor en el desarrollo de proyectos termosolares.
- + Desarrollar plataformas de información que permitan acercar la oferta de tecnologías (información general de las tecnologías) y demanda de proyectos en el sector industrial (matchmaking), guías de buenas prácticas, financiamiento disponible de proyectos, herramientas de evaluación de rentabilidad de proyectos termosolares desde la perspectiva de un usuario final privado.
- + Fomentar la innovación y desarrollo tecnológico, cuya misión sea promover la vinculación y colaboración entre instituciones académicas y el sector privado (proyectos piloto, desarrollo prototipos a escala pre comercial).
- + Desarrollo de programa de atracción e inserción de capital humano avanzado, cuyo objetivo sea aumentar las capacidades académicas, científicas y tecnológicas de las instituciones nacionales.
- + Sensibilización de los actores clave y el conocimiento del proyecto para su posterior desarrollo e implantación y fomentar su involucración en etapas posteriores, manteniendo una comunicación fluida.

De esta manera, los objetivos y metas específicas de la iniciativa buscan lograr una promoción y difusión efectiva del aprovechamiento del calor solar, lo que conllevará a incrementar la capacidad instalada de sistemas solares térmicos de baja y media temperatura, aumentando la participación de energía renovable en la oferta interna bruta y la disminución de emisiones de CO₂ del sector industrial.

Finalmente, resalta la necesidad de promover y buscar sinergias entre el sector público, el sector privado y el sector académico que permitan acelerar la transición hacia el aprovechamiento de las energías renovables de manera competitiva en el país.



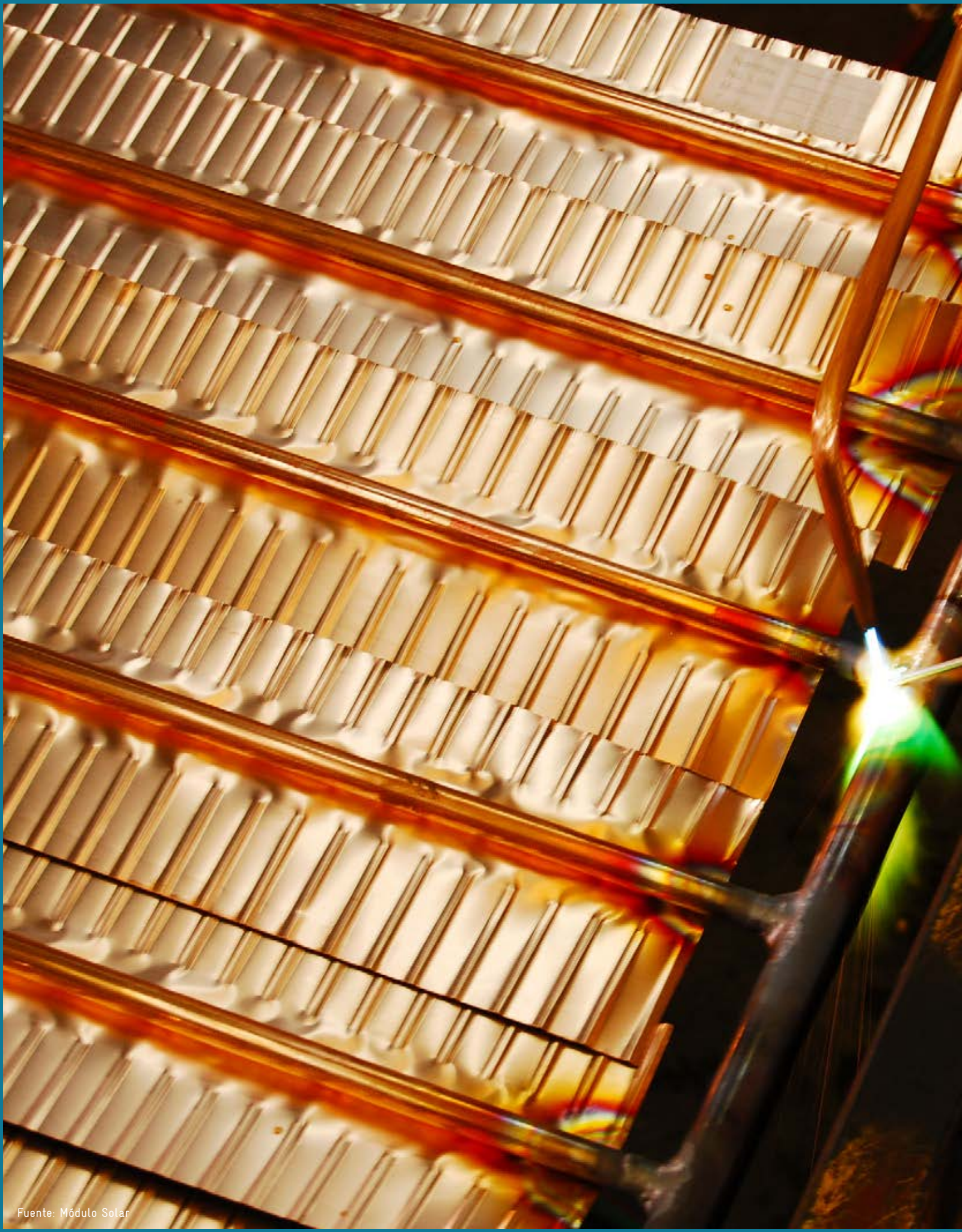


7

BIBLIOGRAFÍA

- AEE INTEC, 2018. *Solar Heat for Industrial Processes*. [En línea]
Available at: <http://ship-plants.info/>
[Último acceso: 10 01 2018].
- AIGUASOL, 2001. *The Potential of Solar Heat for Industrial Processes (POSHIP)*, s.l.: European Commission Energy and Transport.
- BANXICO, 2017. *MERCADO CAMBIARIO (TIPOS DE CAMBIO)*. [En línea]
Available at: <http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/index.html>
- Campos, M. F., 2016. *Estado de la Infraestructura de la Calidad para Energías Renovables y Eficiencia Energética en México*, s.l.: s.n.
- Congress, U., 2007. *Energy Independence and Security Act of 2007*. [En línea]
Available at: <https://www.congress.gov/bill/110th-congress/house-bill/6/text>
[Último acceso: 2018].
- CRE, 2017. *Precios de Gas Natural: Usuarios Finales*. [En línea]
Available at: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/precios-de-gas-natural-usuarios-finales>
- CRE, 2018. *Índice de Referencia Nacional de Precios de Gas Natural al Mayoreo (IPGN)*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/cre/documentos/indice-de-referencia-nacional-de-precios-de-gas-natural-al-mayoreo-ipgn>
- Cuevas, M. & Amtmann, M., 2013. *Programa para la promoción de calentadores solares de agua*. México: s.n.
- DOE & EIA, 2016. *International Energy Outlook 2016*, s.l.: US Department of Energy and Energy Information Administration.
- EIA, 2017. *Natural Gas (Henry Hub Natural Gas Spot Price)*. [En línea]
Available at: <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdm.htm>
- EIA, 2017. *Short -Term Energy Outlook*, s.l.: s.n.
- FIRCO, 2017. *Aprovechamiento de la Energía Solar Térmica en el Calentamiento de Agua*, Ciudad de México: s.n.
- GIZ, 2015. *Lecciones aprendidas y mejores prácticas del Proyecto 25,000 Techos Solares para México*, Ciudad de México: s.n.
- GIZ, 2016a. *Hoja de Ruta para acelerar el despliegue de la energía solar térmica en México*, Mexico City: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- GIZ, 2016b. *Lecciones aprendidas en Infraestructura de Calidad en Calentadores Solares de Agua*, México: s.n.
- GIZ, 2016c. *Determinación de línea base de consumo energético y potenciales de eficiencia energética sectoriales en México*. México: s.n.
- IEA SHC Task 49, 2015. *Process Heat Collectors: State of the Art and available medium temperature collectors, Technical Report A.2.1*, s.l.: s.n.
- IEA, 2012. *Technology Roadmap. Solar Heating and Cooling*, París: s.n.
- IEA, 2016a. *World Energy Balance*. Paris: s.n.
- IEA, 2016b. *World Energy Outlook*. Paris: s.n.
- IER, 2017. *Estudio sobre el uso de la energía solar en aplicaciones residenciales, industriales y comerciales en diferentes Estados del país*, s.l.: s.n.
- INFONAVIT, 2016. *Calentadores financiados con H.V. (2007-2015)*, s.l.: s.n.
- IPCC, 2015. *Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change - Chapter 10 - Industry*, s.l.: Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC.
- IPCC, 2015. *Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change, Summary for Policymakers and Technical Summary*, s.l.: Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group III Contribu-

- tion to the Fifth Assessment Report of the IPCC.
- IRENA, 2014. *Renewable Energy in Manufacturing. A technology roadmap for REmap 2030*, s.l.: s.n.
- IRENA, 2015a. *Solar heat for industrial processes – Technology Brief*, s.l.: International Renewable Energy Agency, Energy Technology Systems Analysis Programme.
- IRENA, 2015b. *Renewable Energy Prospects: Mexico*, Abu Dhabi: s.n.
- Mauthner, F., Weiss, W. & Spörk-Dür, M., 2017. *Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends 2016, Detailed Market Figures 2015*, Gleisdorf, Austria: Institute for Sustainable Technologies – IEA Solar Heating & Cooling Programme.
- Mejía, Á., s.f. *Solar Heat for Industrial Processes*. [En línea]
Available at: <http://ship-plants.info/?country=Mexico>
[Último acceso: 11 Diciembre 2016].
- Morelos, P. E., 2016. *Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos*. [En línea]
Available at: http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/acuerdos_estatales/pdf/ASUBFISENER-GIASOLAR.pdf
- PEMEX, 2018. *Indicadores petroleros Diciembre de 2017*. [En línea]
Available at: http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Indicadores%20Petroleros/epublico_esp.pdf
- Power, I., 2017. [En línea]
Available at: http://inventivepower.com.mx/?page_id=5973&lang=es
- REN 21, 2016. *Renewables 2016. Global Status Report*, París: s.n.
- SEMARNAT & INECC, 2015. *Inventario Nacional de Gases y Compuesto de Efecto Invernadero 2014*, México: s.n.
- SENER, 2012. *Prospectiva de Energías Renovables*, México: s.n.
- SENER, 2013. *Prospectiva de Energías Renovable 2013–2027*, México: s.n.
- SENER, 2015b. *Prospectiva de Gas Natural y Gas L. P. 2015–2029*, Ciudad de México: s.n.
- SENER, 2016b. *Estrategia de Transición para promover el uso de Tecnologías y Combustibles más limpios*, Ciudad de México: s.n.
- SENER, 2016c. *Plan Quinquenal de Expansión del Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural 2015–2019*, Ciudad de México: s.n.
- SENER, 2016d. *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2016–2030*, Ciudad de México: s.n.
- SENER, 2017a. *Balance Nacional de Energía 2016*. México: s.n.
- SENER, 2017a. *Balance Nacional de Energía 2016*, Ciudad de México: s.n.
- SENER, 2017. *Sistema de Información Energética*. [En línea]
Available at: <http://sie.energia.gob.mx/>
- SENER, 2018. *Sistema de Información Energética*. [En línea]
Available at: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- Solar Payback, 2017. *Calor Solar para la Industria*. Bärbel Epp, Marisol Oropesa ed. Berlin: s.n.
- solrico, 2017. *World Map of Solar Process Heat Specialists*. [En línea]
Available at: http://www.solrico.com/fileadmin/solrico/media/doc/Sun___Wind_Energy_Article/SWE_world_map_article_January_2017.pdf
[Último acceso: 28 09 2017].
- Unión, C. d. l., 2016. *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]
Available at: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR_301116.pdf
- Werner, S., 2006. *Ecoheatcool Work Package 1; The European Heat Market*. Brussels: Euroheat & Power.





8

ANEXOS

ANEXO I

DATOS DEL PROYECTO	FOTOGRAFÍA
<p>Empresa: GlaxoSmithKline México</p> <p>Ubicación: Jiutepec, Morelos</p> <p>Superficie instalada: 360 m²</p> <p>Tipo de colector solar: placa plana</p> <p>Año de instalación: 2011</p> <p>Aplicación: calor de proceso</p> <p>Temperatura del sistema solar: 50/85 °C</p>	 <p>Fuente: Módulo Solar</p>
<p>Empresa: SuKarne – Planta Tipo Inspección Federal</p> <p>Ubicación: Culiacán, Sinaloa</p> <p>Superficie instalada: 195 m²</p> <p>Tipo de colector solar: tubos evacuados</p> <p>Año de instalación: 2009</p> <p>Aplicación: agua caliente para limpieza</p> <p>Temperatura del sistema solar: 60/90 °C</p>	 <p>Fuente: Módulo Solar</p>
<p>Empresa: Nestlé – Planta Toluca</p> <p>Ubicación: Toluca, Estado de México</p> <p>Superficie instalada: 3,700 m²</p> <p>Tipo de colector solar: sin cubierta</p> <p>Año de instalación: 2009</p> <p>Aplicación: precalentamiento de agua para caldera</p> <p>Temperatura del sistema solar: 40/45 °C</p>	 <p>Fuente: Módulo Solar</p>
<p>Empresa: Nestlé – Planta Lagos de Moreno</p> <p>Ubicación: Lagos de Moreno, Jalisco</p> <p>Superficie instalada: 245 m²</p> <p>Tipo de colector solar: cilíndrico-parabólico</p> <p>Año de instalación: 2014</p> <p>Aplicación: precalentamiento de agua de caldera, como parte del proceso de pasteurización</p> <p>Temperatura del sistema solar: 80/95 °C</p>	 <p>Fuente: Inventive Power</p>

DATOS DEL PROYECTO	FOTOGRAFÍA
<p>Empresa: Casa José Cuervo</p> <p>Ubicación: Guadalajara, Jalisco</p> <p>Superficie instalada: 264 m²</p> <p>Tipo de colector solar: cilíndrico-parabólico</p> <p>Año de instalación: 2017</p> <p>Aplicación: precalentamiento de agua de caldera</p>	 <p>Fuente: Inventive Power</p>
<p>Empresa: Lechera Guadalajara Sello Rojo</p> <p>Ubicación: Guadalajara, Jalisco</p> <p>Superficie instalada: 430 m²</p> <p>Tipo de colector solar: cilíndrico-parabólico</p> <p>Año de instalación: 2015</p> <p>Aplicación: acoplado al proceso de pasteurización</p> <p>Temperatura del sistema solar: 70/95 °C</p>	 <p>Fuente: Inventive Power</p>
<p>Empresa: COMFOSA, S.A. de C.V.</p> <p>Ubicación: Lagos de Moreno, Jalisco</p> <p>Superficie instalada: 462 m²</p> <p>Tipo de colector solar: cilíndrico-parabólico</p> <p>Año de instalación: 2017</p> <p>Aplicación: calor de proceso</p>	 <p>Fuente: Inventive Power</p>

ANEXO II

TECNOLOGÍA/ENERGÉTICO	GENERACIÓN BRUTA (GWh)	%	%	CATEGORÍA
Fósiles	254,495.55	1.2	79.69	Fósiles
Nucleoeléctrica	10,567.2	3.4	4.98	Otras limpias
Cogeneración eficiente	5,053.0	1.6		
Licor Negro	38.0	0.0		
Frenos regenerativos	3.6	0.0		
Hidroeléctrica	30,909.3	10.0	15.36	Renovables
Eólica	10,462.6	3.4		
Geotérmica	6,148.3	2.0		
Bagazo	1,276.4	0.4		
Fotovoltaica	214.8	0.1		
Biogás	194.8	0.1		
Híbrido	0.0	0.0		
TOTAL	319,364.00	100		

Fuente: Informe sobre la participación de las energías renovables en la generación de electricidad en México, al 31 de diciembre de 2016, SENER.

ANEXO III

CATEGORÍAS	LÍNEAS DE ACCIÓN
Regulaciones y políticas públicas	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Desarrollar regulaciones para el aprovechamiento de superficies en las construcciones para la instalación de tecnologías solares. ✦ Incorporar elementos para la integración de tecnologías fotovoltaicas en la envolvente de las edificaciones en los reglamentos de construcción. ✦ Introducir gradualmente estructuras tarifarias horarias para el consumo y de contraprestaciones reguladas para la generación de excedentes, que permitan reconocer la aportación de energía y potencia de las instalaciones solares. ✦ Fomentar la creación de programas de aprovechamiento de la tecnología solar con aplicaciones térmicas en procesos industriales. ✦ Establecer NOMs para los dispositivos e instalación de sistemas para el aprovechamiento solar con aplicaciones térmicas.
Capacidades técnicas y recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Desarrollar programas de capacitación y certificación de profesionistas y técnicos en las áreas de diseño, construcción e instalación de sistemas con tecnologías solares. ✦ Promover el incremento de proveedores de sistemas térmicos solares certificados con aplicaciones industriales.
Instituciones	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Fortalecer instituciones subnacionales que impulsen políticas, programas y proyectos que aprovechen el potencial del recurso solar. ✦ Coordinar la integración de una red para el aprovechamiento de energía solar térmica en procesos industriales que vincule a los principales actores.
Mercados y financiamiento	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Consolidar el esquema de Certificados de Energías Limpias que permiten un ingreso adicional a las centrales eléctricas limpias. ✦ Establecer programas de financiamiento para micro-redes eléctricas para el aprovechamiento de la energía solar. ✦ Fortalecer mecanismos de garantía en proyectos de gran escala. ✦ Crear esquemas de financiamiento que faciliten la adquisición de equipos para el aprovechamiento de la energía solar. ✦ Desarrollar modelos de negocio que permitan una penetración acelerada de la tecnología solar térmica.
Investigación, desarrollo e innovación	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Fortalecer capacidades de investigación y desarrollo de elementos y componentes tecnológicos de sistemas descentralizados de generación de electricidad a partir de energía solar. ✦ Realizar estudios sobre el consumo final de energía en el sector industrial para establecer el potencial técnico y económico de la tecnología solar térmica.



Energía solar térmica para procesos industriales en México
Estudio base de mercado