

**CALOR SOLAR  
PARA LA INDUSTRIA  
MÉXICO**



Solar  
Payback

# CALOR SOLAR PARA LA INDUSTRIA: MÉXICO

**Editores:** Jan Knaack (Asociación Solar Alemana - BSW Solar), Marisol Oropeza (matters.mx), Kira Potowski (Cámara Mexicano-Alemana de Comercio e Industria - CAMEXA), Angélica Quiñones (Asociación Nacional de Energía Solar - ANES).

**Agradecimientos:** Pablo Cuevas (PNUD), Daniel García (FAMERAC), Alejandro González (Puntosolar), Ángel Mejía (Inventive Power), Hermilio Ortega (GIZ México), Sabine Schulte (CAMEXA).

**Diseño editorial:** Debbie Smit (Quba Design and Motion), Sudáfrica.

**Fecha:** Mayo 2018

Copyright © Solar Payback 2018

**Créditos de las fotografías de portada y contraportada:** Silke Anders, Jaideep Malaviya, Inventive Power, Solartron Energy, Chinese Solar Thermal Industry Federation / Sun & Wind Energy

A menos que se indique lo contrario, el material de esta publicación se puede usar libremente, compartir o reimprimir, siempre que se reconozca a Solar Payback como la fuente.



## Acerca de Solar Payback

El objetivo del proyecto de tres años Solar Payback es promover el uso del Calor Solar para Procesos Industriales (SHIP) en cuatro países: Sudáfrica, India, México y Brasil.

Como parte de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (IKI por sus siglas en alemán), el proyecto concientiza sobre el potencial técnico y económico de tecnologías SHIP a través de información clara y transparente acerca de los costos y beneficios de aplicaciones SHIP, y ayuda a crear sistemas de referencia. Solar Payback también colabora con instituciones financieras para desarrollar modelos que asistan a diferentes actores e inversionistas en el acceso a financiamiento.

[www.solar-payback.com](http://www.solar-payback.com)

## Apoyo económico

Solar Payback es un proyecto que forma parte de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB) fomenta la iniciativa por decisión del Parlamento Alemán.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>1. CONSUMO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA EN MÉXICO.....</b>	<b>4</b>
1.1 Marco macroeconómico .....	5
1.2 Demanda de energía en la industria en México .....	9
1.3 Fuentes de energía y su disponibilidad en el sector industrial .....	12
1.4 Producción de calor a partir de fuentes renovables de energía .....	19
1.5 Políticas energéticas, marco normativo y programas de apoyo .....	23
<b>2. EL MERCADO DE CALOR SOLAR DE PROCESOS .....</b>	<b>29</b>
2.1 Introducción al calor solar para procesos industriales (SHIP).....	30
2.2 El calor solar de procesos en México .....	33
2.3 Capacidad SHIP instalada y aplicaciones en México.....	34
<b>3. DEMANDA DE CALOR EN LA INDUSTRIA EN MÉXICO.....</b>	<b>42</b>
3.1 Descripción de industrias según el nivel de temperatura determinado .....	43
3.2 Resultados encuesta para la Industria Mexicana .....	47
<b>4. PLANEACIÓN Y DESARROLLO DE PROYECTOS SHIP .....</b>	<b>51</b>
4.1 Descripción del proceso de desarrollo de proyectos SHIP .....	52
<b>5. RENTABILIDAD DE PROYECTOS SHIP .....</b>	<b>56</b>
5.1 Variables técnicas y financieras .....	57
5.2 Escenarios .....	58
5.3 Indicadores clave de rendimiento (KPI) y gráficos .....	58
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>
1. Lista de ilustraciones .....	63
2. Lista de tablas .....	64
3. Lista de acrónimos .....	65
4. Referencias .....	66
5. Casos de éxito en México .....	68
6. Costos de gas LP por regiones del país .....	70

# RESUMEN EJECUTIVO

La demanda de calor en el sector industrial y la generación de energía térmica mediante fuentes renovables de energía y 100% limpias son temas de alta relevancia que requieren de mayor atención en México. La energía solar, en particular, puede contribuir en gran parte a alcanzar los objetivos del país en materia de cambio climático, energías renovables y eficiencia energética. Además, puede ser un factor clave para incrementar la competitividad del sector industrial al reemplazar o reducir el consumo de costosos combustibles fósiles. El presente estudio analiza el consumo de energía térmica en el sector industrial y las tecnologías solares existentes en el mercado para generar calor solar de procesos. Su objetivo es dar un panorama general de las ramas industriales donde la energía termosolar podría incrementar su participación de mercado.

El primer capítulo parte de un análisis macroeconómico que pone en contexto el papel de la demanda de calor en este sector. El crecimiento económico del país va aunado a un mayor consumo de energía. El sector industrial representó el 32.4% del PIB en el 2016 y es el segundo mayor consumidor de energía después del sector transporte. En ese mismo año, 67% del consumo de energía del sector industrial correspondió a la demanda de calor, mientras que la demanda de electricidad solamente representó un 33%. El 96% de la demanda de calor en la industria es cubierta por combustibles fósiles, lo cual representa emisiones GEI y gastos de operación considerables para las empresas dado el alto nivel de inflación de los energéticos en el país.

México cuenta con un recurso solar abundante y las tecnologías para el calentamiento solar de agua en el sector residencial y comercial tienen una larga trayectoria. Con una superficie total instalada de 3.7 millones de m<sup>2</sup> de colectores solares térmicos equivalentes a 2.5 gigavatios térmicos (7% de crecimiento respecto al año anterior), el mercado termosolar de México es el segundo más grande en América Latina, después de Brasil.

Las leyes, reformas, estrategias, planes y programas relacionadas con energía se centran en su mayoría en el consumo eléctrico y su abasto. Por su parte, actores del sector solar térmico mexicano han realizado esfuerzos para implementar normas y estándares de competencia laboral que han contribuido a incrementar la certeza técnica y calidad de las instalaciones solares térmicas en México. Los programas de difusión y apoyo económico para la adquisición de calentadores solares de agua han sido clave en el desarrollo de este mercado en el sector residencial y comercial. La inclusión explícita de metas, normas, estándares para el uso de la tecnología solar en el sector industrial, así como una mayor difusión e instrumentos de apoyo financiero son indispensables para un mayor despliegue de la tecnología termosolar en este sector.

El segundo capítulo describe el uso de las tecnologías termosolares en procesos industriales o calor solar de procesos, también conocido como SHIP por sus siglas en inglés (Solar Heat for Industrial Processes). Existen diferentes tipos de colectores que tienen aplicación en diferentes sectores industriales, dependiendo del nivel de temperatura requerida. Actualmente existen colectores solares que llegan a generar temperaturas de hasta 400°C.

En México existen varios fabricantes nacionales de colectores solares y proveedores de soluciones SHIP, así como proyectos exitosos en diferentes ramas industriales. Según una encuesta realizada por Solar Payback, México encabezó la lista de países con el mayor número de plantas SHIP instaladas en 2017 (36 plantas equivalentes a 6,411 m<sup>2</sup>), seguido de la India y China. Datos más precisos acerca

del tipo de plantas SHIP instaladas en México están disponibles en la plataforma [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info). Hasta julio de 2017 se registraron 43 plantas SHIP equivalentes a 17,446 m<sup>2</sup> y 11,472 kilovatios térmicos (kWt):

- 42 proyectos fueron realizados por empresas mexicanas (Inventive Power y Módulo Solar) y uno por una empresa danesa (Arcon-Sunmark).
- El proyecto SHIP más grande de México es en la industria minera Peñoles con 6,270 m<sup>2</sup> equivalentes a 4,400 kWt, mientras que el 84% corresponde a proyectos SHIP en la industria de alimentación y bebidas.
- Las tecnologías termosolares más utilizadas son los colectores planos, los colectores de agua sin cubierta y los cilíndrico-parabólicos.
- Los rangos de temperatura de los proyectos oscilan entre los 20 y los 100°C, con una fracción solar de 20 y 75%.
- Los proyectos se ubican en 16 estados de la República. Jalisco cuenta con el mayor número de proyectos instalados (13) y Sonora tiene la mayor capacidad instalada (4,400 kWt).

El tercer capítulo analiza los sectores industriales relevantes para las tecnologías SHIP. 30% de la demanda total de calor en la industrial mexicana corresponde a temperaturas bajas (hasta 150°C), 21% a temperaturas medias (150 – 400°C) y 49% a temperaturas altas (mayores a 400°C). Considerando que las tecnologías SHIP existentes en el mercado pueden generar temperaturas de hasta 400°C, las ramas industriales con un mayor potencial para el uso del calor solar de procesos son aquellas con una demanda de temperatura baja y media, tales como alimentos y bebidas, química, pulpa, papel y cartón, automotriz, construcción y minería.

El cuarto capítulo describe el proceso y los elementos clave para un adecuado diseño y desarrollo de plantas SHIP. Aquí se hace mención de la importancia que tiene la implementación previa de medidas de eficiencia energética, indispensables para incrementar la rentabilidad de la tecnología SHIP.

El quinto capítulo se refiere a la rentabilidad de proyectos SHIP. La inversión en esta tecnología depende en gran parte de su viabilidad económica, por lo que un análisis profundo de los periodos de amortización y retorno de inversión son indispensables. El acceso a crédito y garantías también son de suma importancia. La herramienta de cálculo desarrollada por el proyecto Solar Payback permite realizar un análisis preliminar acerca de la viabilidad económica de un proyecto SHIP.

El sexto y último capítulo incluye recomendaciones generales para una mayor tasa de implementación de proyectos SHIP en México con base en los factores ampliamente analizados en el estudio „Fomento de la integración de energías renovables en la industria“ publicado por IEA-RETD en marzo de 2017. Entre dichos factores se encuentran el financiamiento, los tiempos de amortización y retorno de la inversión, la comunicación, la confianza en la tecnología, la operación e integración, y los mecanismos de mitigación de riesgos y seguros.

Las organizaciones participantes en el proyecto Solar Payback continuarán realizando actividades de difusión y demostración. Con base en las conclusiones de este estudio y los resultados del taller de política pública realizado en México en mayo de 2018, se analizará con mayor profundidad el potencial económico de la tecnología SHIP en el país. El objetivo es presentar un documento con recomendaciones de política pública a finales de 2018 a representantes de las instancias de gobierno correspondientes.

CAPÍTULO 1  
**CONSUMO DE ENERGÍA EN LA  
INDUSTRIA EN MÉXICO**



## 1.1 Marco macroeconómico

México es la segunda economía en América Latina más grande después de Brasil (Forbes 2016). En el último trimestre de 2017 la economía mexicana tuvo una importante expansión tras una contracción en el trimestre anterior como resultado de los efectos de los sismos de septiembre y de la caída extraordinaria en la plataforma de producción petrolera (Banxico 2018a).

Algunos de los factores que tuvieron efectos favorables en la actividad económica a finales de 2017 fueron el dinamismo de las exportaciones a Estados Unidos, y de manera más notable, al resto del mundo, así como el tipo de cambio real que se mantuvo en niveles depreciados respecto a lo observado en 2015. Por otra parte, el fortalecimiento de la actividad económica a nivel global contribuyó a que las exportaciones manufactureras de México continuaran recuperándose. Lo anterior aumentó el valor de las exportaciones y tuvo un impacto positivo en la generación de mayor valor agregado por dólar exportado. Sin embargo la incertidumbre respecto a las medidas proteccionistas del Presidente Trump y la renegociación del TLCAN representan un riesgo para las expectativas de crecimiento económico del país. Se espera que la tasa de crecimiento del PIB en 2018 se ubique entre 2.0 y 3.0% y que en 2019 se observe una expansión de la economía de entre 2.2 y 3.2%.

En 2017 el déficit de la cuenta corriente siguió disminuyendo y alcanzó niveles inferiores a los registrados en 2015 y 2016. La inflación estuvo fuertemente influida principalmente por la depreciación de la moneda nacional, incrementos en los precios de algunos energéticos (gasolinas y gas L.P.), así como aumentos en las tarifas de autotransporte y alzas en los precios de algunos productos agropecuarios, lo que condujo a que al cierre del año la inflación alcanzara niveles no observados desde el año 2001 (6.77% al cierre de 2017). En enero de 2018 la inflación presentó una disminución considerable (5.55%) y se estima que se mantenga en niveles alrededor de 3.5% a mediano y largo plazo (Banxico 2018a). En vista de lo anterior se espera que el Banco de México endurezca las condiciones monetarias para lograr la convergencia de las expectativas de inflación a su objetivo de 3%. En 2017 México registró la mayor inflación de energéticos entre los 35 países de la OCDE (15.8% y 6.9% respectivamente). Sólo en diciembre de 2017, los energéticos en México subieron de precio 17.6% respecto al mismo mes de 2016, casi el triple respecto al promedio de 6.2% de la OCDE (La Jornada 2018).

Las tasas de desocupación en el último trimestre de 2017 permanecieron en niveles particularmente bajos y el número de puestos de trabajo afiliados al IMSS siguió registrando un elevado dinamismo; la tasa de informalidad laboral mantuvo una tendencia decreciente, situándose alrededor de los niveles más bajos de los últimos trece años. Los costos de la mano de obra en la economía en su conjunto disminuyeron y mantuvieron una tendencia a la baja, sin embargo, aquellos correspondientes al sector manufacturero en particular continuaron mostrando una tendencia al alza (Banxico 2018a).

Por lo que respecta al comportamiento de las tasas de interés en México en el último trimestre de 2017, éstas mostraron una elevada volatilidad e incrementos para todos los plazos, sobre todo aquellas de 2 años en adelante. Las tasas de financiamiento interno a las empresas fueron relativamente elevadas (6.7%) derivado tanto del dinamismo del mercado interno de deuda, como de la sostenida expansión del crédito de la banca comercial a las empresas de mayor tamaño. El crédito otorgado a las pequeñas y medianas empresas se moderó sustancialmente en 2017, tanto por una menor demanda por crédito, como por condiciones de otorgamiento más estrechas. En el mismo periodo los costos del financiamiento se mantuvieron en niveles superiores a los observados en 2016 (Banxico 2018a).

En la tabla 1 se pueden observar los pronósticos de crecimiento económico para México para el año 2018 y 2019 con base en la encuesta sobre las expectativas de los especialistas en economía del sector privado realizada en abril de 2018 por el Banco de México.

<b>TABLA 1: Pronósticos de indicadores económicos para 2018 y 2019</b>		
<b>Indicador</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Crecimiento del PIB (%)	2.21	2.29
Tasa promedio de desempleo (%)	3.42	3.50
Tasa de inflación (anual, %)	3.98	3.65
Tasa TIEE (%)	7.47	6.69
Tipo de cambio pesos por dólar	18.83	18.56
Déficit económico (% del PIB)	2.19	2.26
Requerimientos financieros del sector público (% del PIB)	2.49	2.61
Balanza comercial (millones de dólares)	-11,620	-12,129
Cuenta corriente (millones de dólares)	-22,054	-23,501
Inversión extranjera directa (millones de dólares)	26,685	27,435

Fuente: Banxico 2018b

### **Comercio exterior**

Una gran porción de los productos mexicanos de exportación está compuesta por vehículos automotores y autopartes (28.8%), electrónica (16%), productos eléctricos y ópticos (11.6%), equipo de procesamiento de datos (6.8%), maquinaria (5.3%) y otras mercancías (30.7%) (GTAI 2017). Otros productos importantes son los productos agropecuarios simples y elaborados, especialmente las bebidas alcohólicas como la cerveza y el tequila; así como las frutas, sobre todo aguacates y cítricos, y el azúcar.

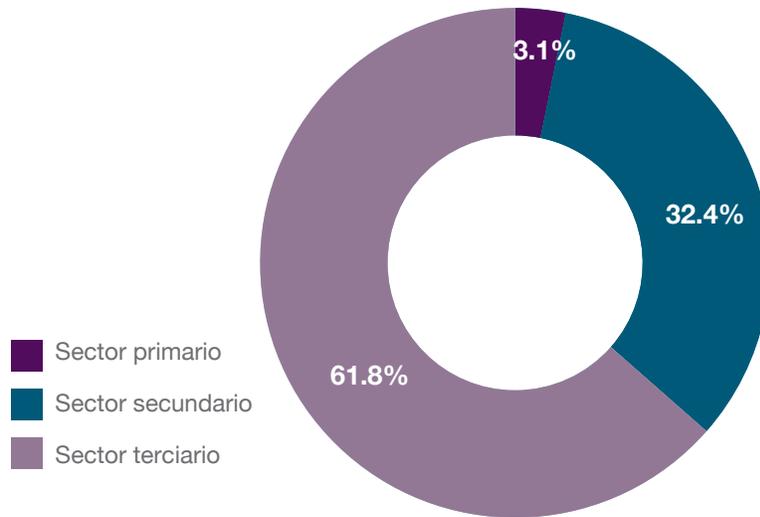
Las exportaciones manufactureras de México han mostrado una evolución favorable desde el segundo semestre de 2016, luego de la tendencia negativa que registraron en 2015 y principios de 2016. En el último trimestre de 2017 las exportaciones manufactureras siguieron mostrando un desempeño favorable como resultado del avance de las exportaciones automotrices y del resto de las manufacturas. La evolución favorable de las exportaciones manufactureras no automotrices se derivó del dinamismo de las dirigidas a países distintos de Estados Unidos (Banxico 2018a).

La red de tratados de libre comercio que México ha establecido le otorga acceso preferencial a 46 países y a un mercado potencial de más de mil millones de consumidores y 60% del PIB mundial. Además, es miembro del Tratado de Asociación Transpacífico (TPP por sus siglas en inglés), participa activamente en organismos y foros multilaterales y regionales como la Organización Mundial del Comercio (OMC), el Mecanismo de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) (Promexico 2018a).

Entre los principales países proveedores de México en el año 2016, además de sus socios del TLCAN USA con 46.5% y Canadá con 2.5%, se pueden nombrar sobre todo a China con 18%, Japón con 4.6%, Corea del Sur con 3.5% y Alemania, que con una participación del 3.6% de las exportaciones totales de la Unión Europea a México, es el mayor proveedor europeo primordialmente de productos semielaborados y bienes de capital a México (GTAI 2017).

## Estructura económica

De acuerdo a datos del INEGI la participación del sector secundario, compuesto por productos de empresas manufactureras, correspondió alrededor del 32.4% del PIB del año 2016. El sector terciario que incluye comercio, transporte, instituciones de crédito, aseguradoras, otras empresas de servicios, gobierno, organizaciones privadas sin fines de lucro, etc. registró una participación de aproximadamente 61.8%. La contribución del sector primario, mismo que incluye agricultura, silvicultura y pesca, fue comparativamente baja con aproximadamente un 3% (ver ilustración 1). Los sectores industriales de mayor crecimiento fueron la industria automotriz, el sector aeronáutico y espacial, así como la industria química. Por otra parte, México registró crecientes ventas de productos electrónicos y multimedia (GTAI 2017).



**ILUSTRACIÓN 1:** Participación de los sectores económicos en el PIB de 2016

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

En el último trimestre de 2017 la actividad manufacturera exhibió una trayectoria positiva, aunque persistió el menor ritmo de crecimiento respecto al observado en la segunda mitad de 2016. El subsector de equipo de transporte mostró cierta pérdida de dinamismo, mientras que el agregado del resto de los subsectores registraron una recuperación. En particular el subsector de la industria de las bebidas y del tabaco, así como el de la industria metálica mostraron un comportamiento favorable (Banxico 2018a). La ilustración 2 muestra los Estados de la República en los cuales hubo un crecimiento de la actividad industrial en comparación con el año anterior con base en el Indicador Mensual de la Actividad Industrial por Entidad Federativa (IMAIEF 2018).



**ILUSTRACIÓN 2:** Actividad industrial por entidad federativa: variación porcentual acumulada de las industrias manufactureras, enero-octubre 2017 / enero octubre 2016

Fuente: IMAIEF 2018

### Estructura empresarial

Conforme a los datos del censo del año 2014 realizado por el INEGI existían alrededor de 5,654,000 empresas registradas en el país, de las cuales el 97.6% son microempresas (con hasta 10 colaboradores), mismas que representan alrededor del 38.9% de las fuentes de trabajo.

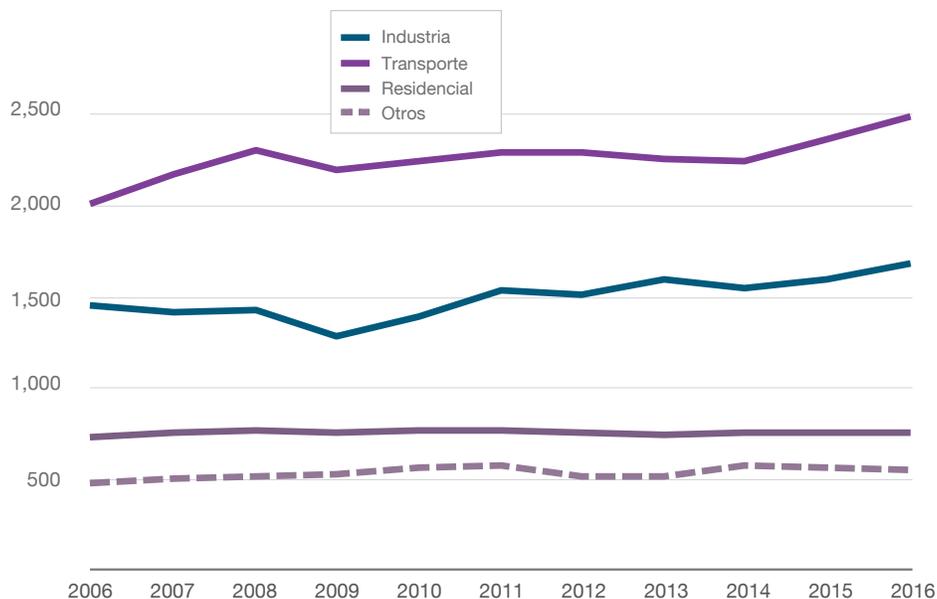
Alrededor de 605,000 de las empresas censadas pertenecen al sector manufacturero e industrial; 94% de dichas compañías son microempresas, 3.7% son empresas pequeñas (con 11 a 50 colaboradores), 1.3% son medianas empresas (51 a 250 empleados). Solamente el 0.6% son empresas grandes.

### Conclusiones

- La posición estratégica de México, su desarrollo económico estable, amplia red de tratados y acuerdos comerciales, así como su estructura económica, lo hacen un socio estratégico para diferentes industrias e inversiones extranjeras. Impulsar a la energía termosolar como fuente de energía renovable y 100% limpia en el sector industrial es de suma importancia para fortalecer dicha posición y hacer de México un destino aún más atractivo para la inversión extranjera.
- El sector industrial del país fue responsable del 32.4% del PIB de 2016, muestra dinamismo en diferentes partes del territorio nacional y se podría beneficiar de un entorno macroeconómico estable que fomente condiciones favorables para que el sector financiero esté en posibilidades de canalizar más recursos al sector industrial, sobre todo para las MPyMES, ya que conforman el 99% del total de las empresas del país.

## 1.2 Demanda de energía en la industria en México

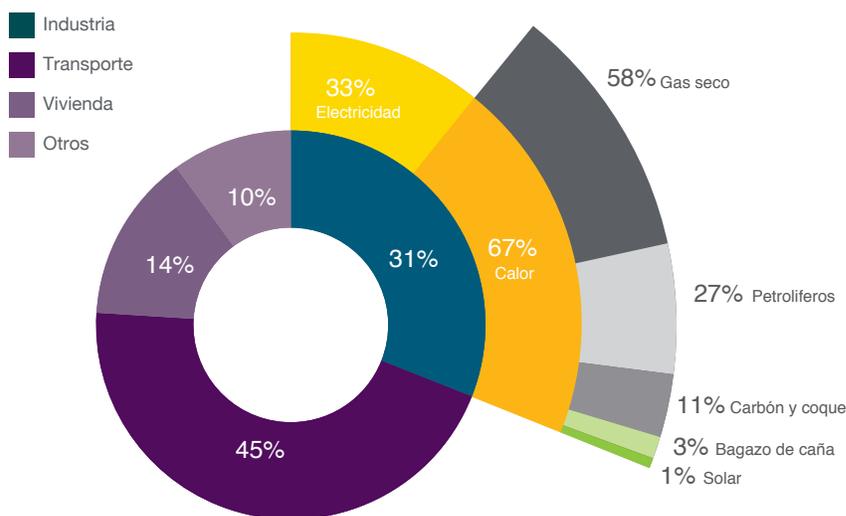
Como lo indica la ilustración 3 el consumo final de energía en México ha crecido prácticamente en todos los sectores económicos durante la última década. El sector industrial es el sector económico con el mayor consumo de energía después del sector transporte (ver ilustración 3).



**ILUSTRACIÓN 3:** Consumo final de energía en México por sector (PJ) de 2006 a 2016. Otros incluye el sector no energético, comercial, público y agropecuario.

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2016

En 2016 el consumo final total de energía en México creció 3.7% respecto al 2015 alcanzando los 5,479.26 PJ. El consumo de energía en el sector industrial también mostró un incremento del 4.9% respecto al año anterior ubicándose en 1,680.79 PJ, lo cual equivale al 31% del consumo total de energía del país (ver ilustración 4) (SENER 2016).



**ILUSTRACIÓN 4:** Consumo final de energía en México en el año 2016 (total: 5,479.26 PJ)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2016

Como lo muestra la ilustración anterior, el consumo de calor en el sector industrial de México representó el 67% (1,119.11 PJ) en el año 2016, mientras que el de electricidad representó solamente un 33% (561.68 PJ) del consumo final de energía. A nivel mundial el consumo de calor en la industria corresponde a 74% (85 EJ) (IEA 2014).

La demanda de calor en la industria en México se cubre prácticamente en su totalidad con combustibles fósiles, siendo el gas natural seco el combustible mayormente utilizado (58%).

### **Emisiones de gases efecto invernadero debidos a la actividad industrial en México**

La dimensión del consumo energético industrial también tiene importantes implicaciones en la emisión nacional de gases de efecto invernadero (GEI). Durante 2014, el sector industrial emitió alrededor de 73.97 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq y 31,814 toneladas de carbono negro<sup>1</sup>. En el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq, éstas representan el 17% del total nacional, únicamente por el consumo de combustibles; y la emisión de carbono negro en procesos industriales representa el 27.6% de las emisiones de este contaminante.

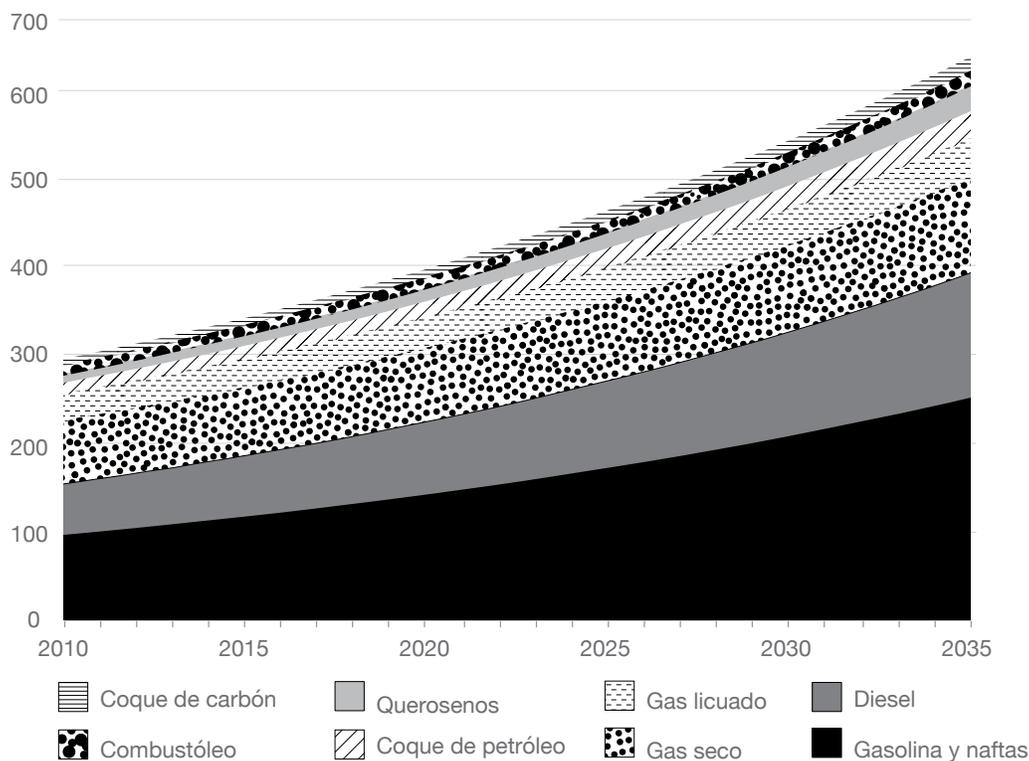
El inventario agrupa una serie de industrias<sup>2</sup> en un solo apartado, las cuales en su conjunto representan más de la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector, en contraste con las emisiones de carbono negro que ascienden al 99% del total de todo el sector en su conjunto.

Las industrias que consumen mayores volúmenes de energía anualmente, como la industria del cemento, siderurgia y química, también representan importantes fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub>eq, con 12.55, 9.25 y 4.88 Mt respectivamente (SEMARNAT & INECC 2015).

---

1 De acuerdo con el Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de 2014, en ese año se tienen reportada la emisión de 436.08 MtCO<sub>2</sub>eq y 115.401 Gg de Carbono Negro (CN) a nivel nacional.

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



**ILUSTRACIÓN 5:** Escenario Base de las emisiones GEI por energético fósil en los sectores de consumo final (MtCO<sub>2</sub>e)

Fuente: Jorge M. Islas S. Et al

**TABLA 2:** Pronósticos de crecimiento de emisiones de GEI hasta 2050

Emisiones de GEI	2015	2020	2025	2030	2050
Crecimiento respecto a las emisiones de consumo final en el 2010	15.6%	34.4%	56.8%	83.8%	115.9%

Fuente: Jorge M. Islas S. Et al

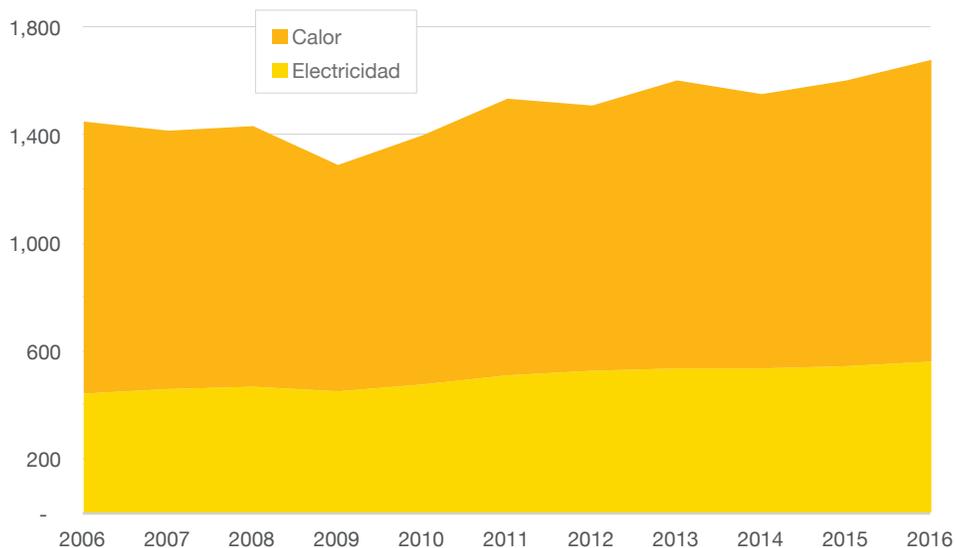
México fue uno de los primeros países en presentar, en noviembre de 2016, una estrategia de reducción de gases de invernadero hasta el año 2050. La Ley General de Cambio Climático tiene como objetivo garantizar el derecho a un medio ambiente sano, a desarrollo sustentable, así como a la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Esta ley establece una meta de reducir las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero en un 30% al 2020 con respecto al año 2000, así como un 50% de reducción de emisiones al 2050. Otro objetivo es lograr por lo menos 35% de generación de energía eléctrica a base de energías limpias para el año 2024. Desafortunadamente no existe una meta para generación de calor a base de energías limpias.

## Conclusiones:

- El sector industrial fue responsable del 31% del consumo final de energía del país en 2016. Del total del consumo de energía en el sector industrial, el 67% correspondió a la demanda de energía térmica (calor), mientras que solo un 33% correspondió a la demanda de energía eléctrica.
- La demanda de calor en la industria en México se cubre prácticamente en su totalidad con combustibles fósiles, siendo el gas natural seco el combustible mayormente utilizado (58%).
- Las emisiones de CO<sub>2</sub>eq, del sector industrial representan el 17% del total nacional, únicamente por el consumo de combustibles; y la emisión de carbono negro en procesos industriales representa el 27.6% de las emisiones de este contaminante.
- El crecimiento económico de la industria va aunado a un mayor consumo de energía y dados los ambiciosos objetivos de reducción de emisiones de GEI del país, será necesario implementar programas y proyectos que favorezcan la sustitución de combustibles fósiles en la industria a través de energías renovables y 100% limpias como la energía solar térmica.

### 1.3 Fuentes de energía y su disponibilidad en el sector industrial

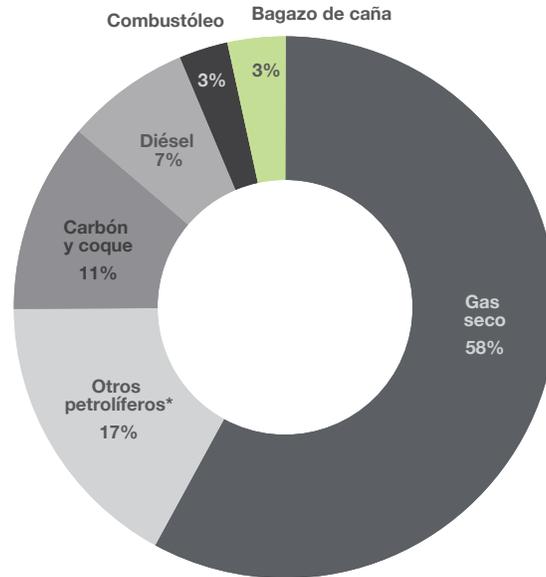
Como se ha visto anteriormente, la demanda de calor es mayor a la demanda de electricidad en el sector industrial de México. Además la demanda de calor en la industria mexicana ha crecido significativamente en la última década, pasando de 1,006.42 PJ en el año 2006 a 1,119.11 PJ en el año 2016, y se espera que siga creciendo a consecuencia del crecimiento de la población y la mayor producción industrial (SENER 2016).



**ILUSTRACIÓN 6:** Consumo final de energía para calor y electricidad en el sector industrial en México 2006 – 2016 (PJ)

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2016.

La demanda de calor del sector industrial en México se satisface preponderantemente con combustibles fósiles como el gas natural, los petrolíferos, el carbón y coque. Como lo muestra la ilustración 7 el gas natural seco es el combustible fósil mayormente utilizado. De los 1,119.11 PJ que consumió el sector industrial para cubrir su demanda de calor en 2016 el 58% correspondió a gas natural seco (SENER 2016).

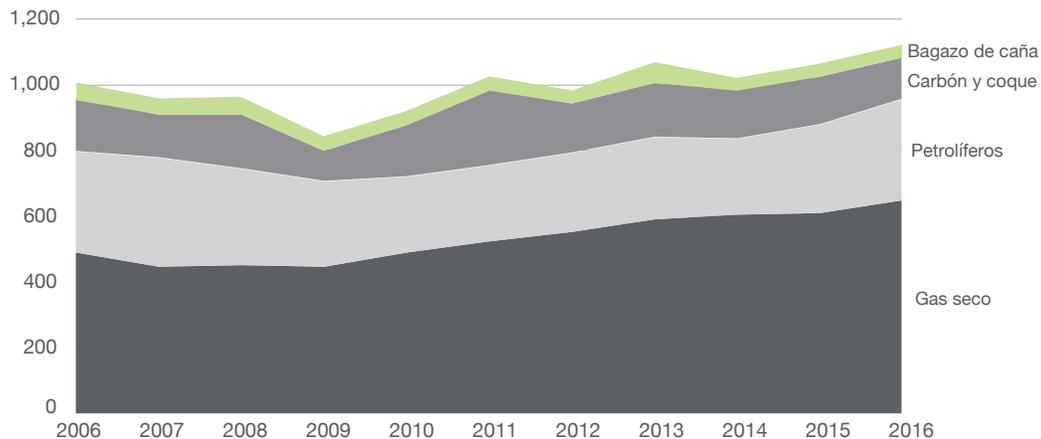


**ILUSTRACIÓN 7:** Fuentes de energía para cubrir la demanda de calor en la industria en México (total: 1,119 PJ)

\*Otros petrolíferos incluye coque de petróleo, gas licuado, gasolinas y naftas, y querosenos

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2016

Durante la última década el consumo de este combustible para cubrir la demanda de calor en la industria ha tenido un crecimiento considerable (ver ilustración 8). Incluso ha llegado a sustituir el consumo de otros combustibles como los petrolíferos, el carbón y coque, mismos que han disminuido en la última década (ver tabla 2).



**ILUSTRACIÓN 8:** Consumo de energía, principalmente fósil, para cubrir la demanda de calor en la industria de 2006 a 2016 (PJ).

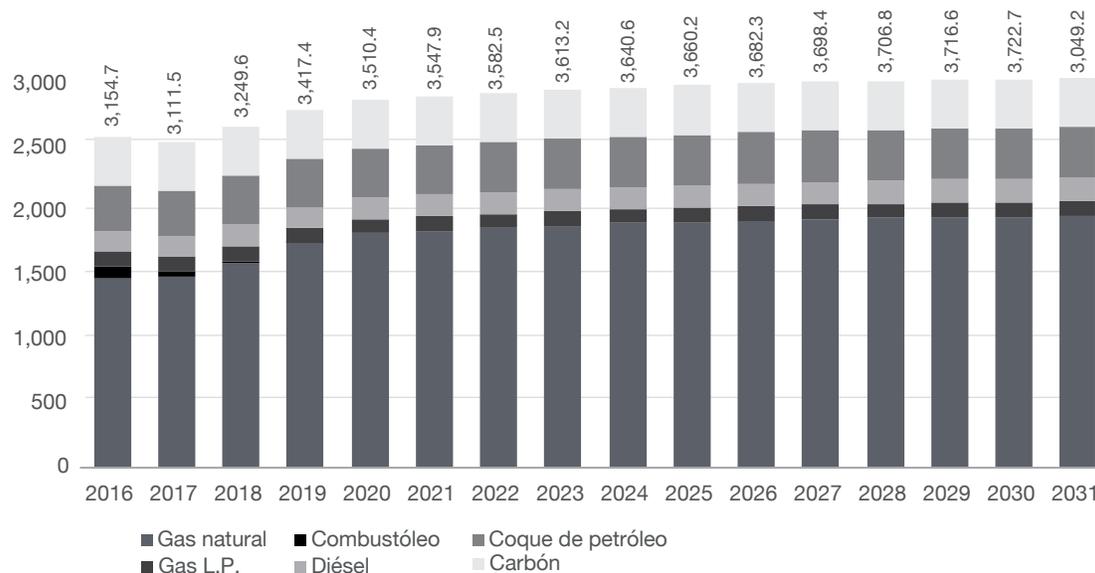
Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2016

**TABLA 3:** Evolución del consumo de combustibles en el sector industrial para calor, 2006-2016 (PJ)

Combustible	Consumo en 2006 (PJ)	Consumo en 2016 (PJ)	Crecimiento/Disminución 2006 - 2016
Gas natural seco	488	648	33%
Petrolíferos	307	305	-1%
Carbón y coque	158	127	-19%
Bagazo de caña	53	38	-28%

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2016

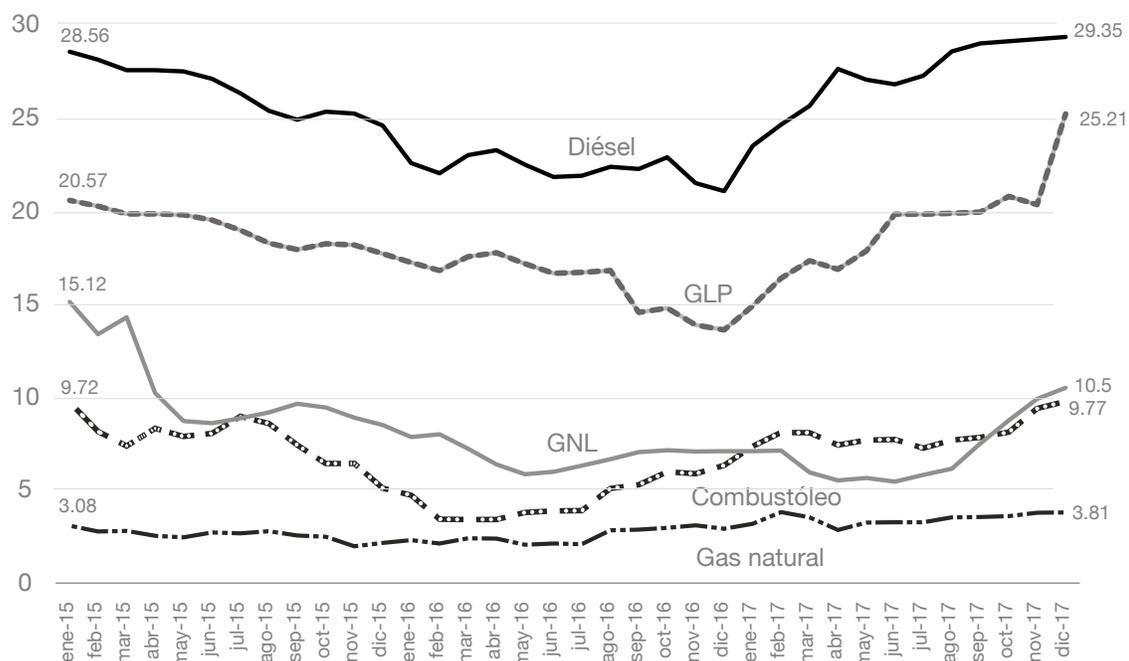
Se espera que en 2031 la demanda de combustibles fósiles en este sector aumente en un 17.9% respecto a 2016. Los combustibles que disminuirán su demanda serán el combustóleo y gas L.P. en 100% y 2.1%, respectivamente. Por el contrario, el gas natural incrementará en 32.3%, seguido del diésel con un incremento de 19.9%, el coque de petróleo con 10.2% y finalmente carbón con 0.9%. La demanda de gas natural en 2031 representará el 64.4% de la demanda total de combustibles fósiles en este sector (ver ilustración 9) (SENER 2017a).



**ILUSTRACIÓN 9:** Demanda de combustibles fósiles en el sector industrial, 2016 – 2031 (mmpcdgne)

Fuente: SENER 2017a

Aunado a lo anterior, el gas natural es el combustible más económico comparado con otros combustibles de uso común. Es por ello que el presente estudio lo analiza con mayor detalle ya que representa el competidor más importante para las tecnologías de calor solar de procesos en México.



**ILUSTRACIÓN 10:** Precios de combustibles (USD/MMBTU)

Fuente: SENER 2018

### Política pública en materia de gas natural

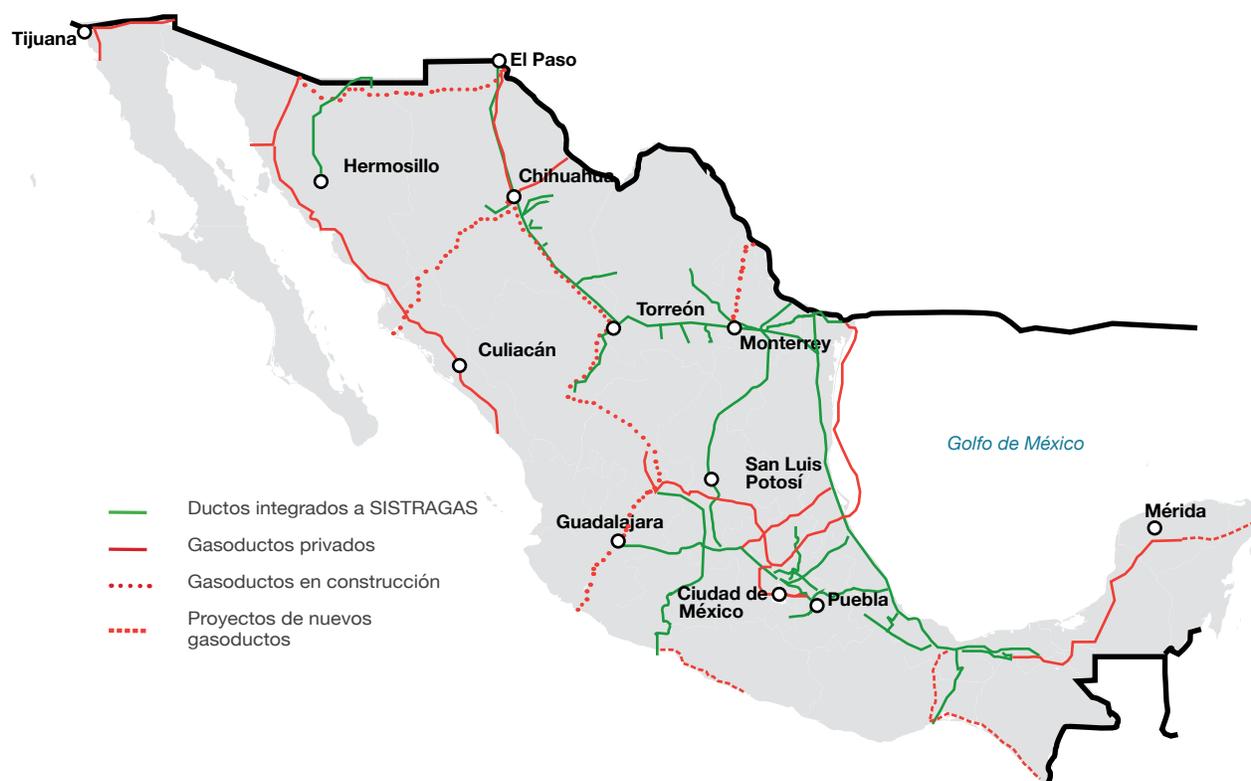
En julio de 2016 se publicó la “Política Pública para la Implementación del Mercado de Gas Natural” la cual sienta las bases para crear un mercado de gas natural eficiente y competitivo que promueva las inversiones y la entrada de nuevos participantes. En agosto de 2014 se creó el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS)<sup>3</sup>, en marzo de 2017 se llevó a cabo la segunda revisión anual del Plan Quinquenal de Expansión del Sistema de Transporte y Almacenamiento Integrado de Gas Natural 2015-2019 y también se emitió la nueva estrategia del Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2019 (SENER 2017a).

### Infraestructura de gas natural

En seguimiento a la implementación de la Estrategia Integral de Suministro de Gas Natural dada a conocer en agosto de 2013, se continúa con los esfuerzos para garantizar el abasto de gas natural mediante la expansión de la red de gasoductos (SENER 2017b):

- Desde el primero de diciembre de 2012 hasta agosto de 2017, se han añadido 3,392 kilómetros a la red nacional de gasoductos, con un incremento de 29% respecto a noviembre de 2012 y se han concluido catorce nuevos gasoductos.
- Al cierre de 2016, la CRE tenía vigentes 57 permisos de transporte de acceso abierto de gas natural por medio de ductos, de los cuales 34 están en operación y 23 en construcción, éstos permisos representan una longitud total de 18,994.4 kilómetros.
- Con respecto a los permisos de distribución de gas natural, al cierre de 2016 la CRE contabilizó 23 con una longitud acumulada de 67,918 kilómetros y una cobertura de 3.3 millones de usuarios distribuidos a lo largo del país.

<sup>3</sup> Organismo descentralizado de la Administración Pública Federal sectorizado a la SENER, el cual es el gestor y administrador independiente del SISTRANGAS y al mismo tiempo se encarga de operar y mantener la infraestructura de transporte cuyos permisos es titular.



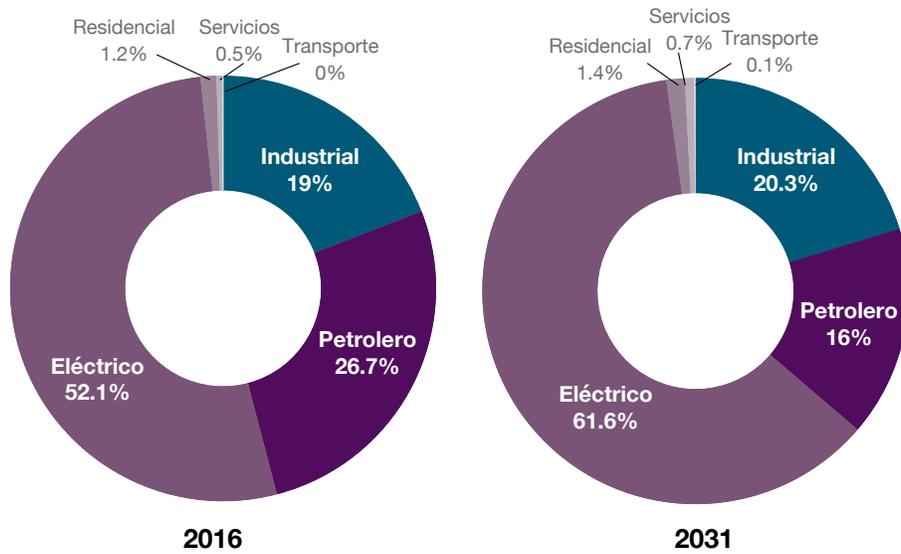
**ILUSTRACIÓN 11: Infraestructura de gasoductos en México 2015-2019**

Fuente: Elaboración propia con datos de CNH 2018

El 31 de marzo de 2017, la SENER publicó la segunda revisión anual del Plan Quinquenal de Expansión del Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural 2015-2019, en la cual se verificó la vigencia de los proyectos contenidos en el Plan Quinquenal publicado el 14 de Octubre de 2015, de acuerdo a la evolución del mercado de gas natural.

**Prospectiva de la demanda de gas natural**

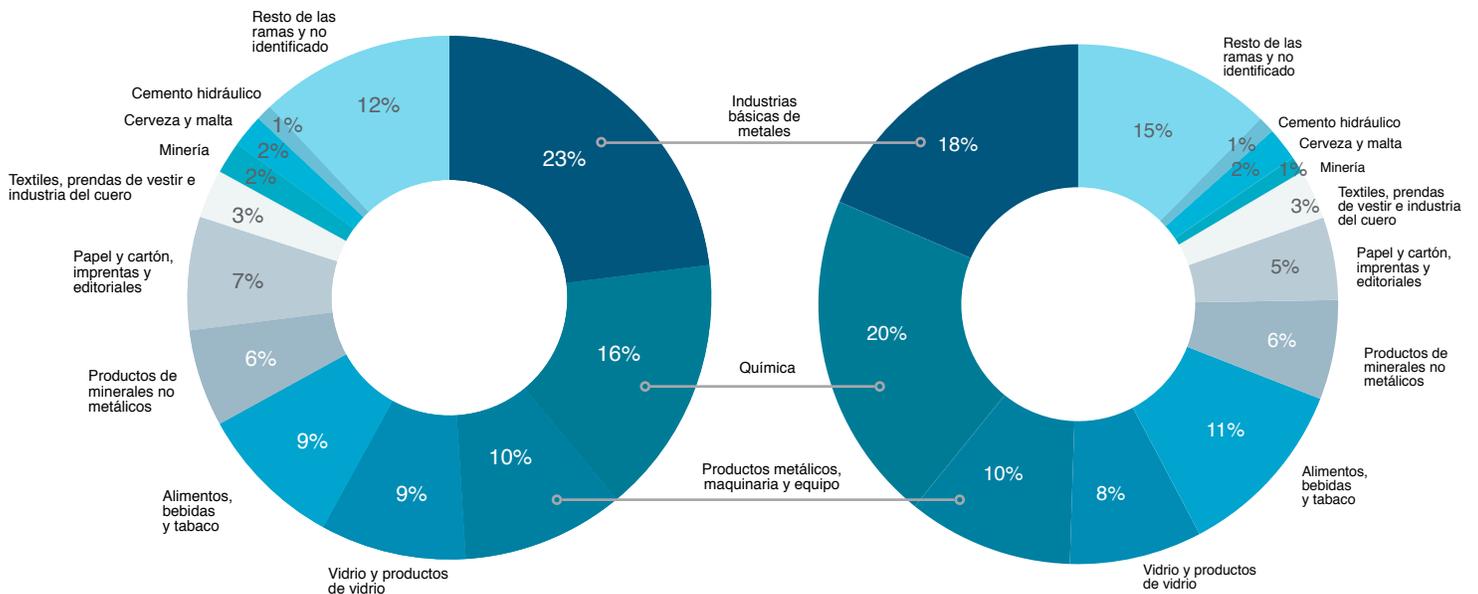
En 2031 la demanda se incrementará en la mayoría de los sectores respecto a 2016. Para 2031 el sector eléctrico consumirá el 61.6%, ubicándose como el mayor consumidor de gas natural; le siguen los sectores industrial con 20.3%; petrolero con 16.0%; residencial y servicios con 1.4% y 0.7% respectivamente; y finalmente, el sector autotransporte con 0.1%. Para el sector industrial se estima que la tasa media de crecimiento anual para el periodo 2016 a 2031 sea de 1.9% (SENER 2017a).



**ILUSTRACIÓN 12:** Demanda de gas natural por sector, 2016 - 2031 (mmpcd)

Fuente: SENER 2017a

La demanda industrial de gas natural para 2031 por grupo de ramas se muestra en la ilustración 13. Se estima que la industria química sea la que más consumirá gas natural con una participación de 20% (SENER 2017a).

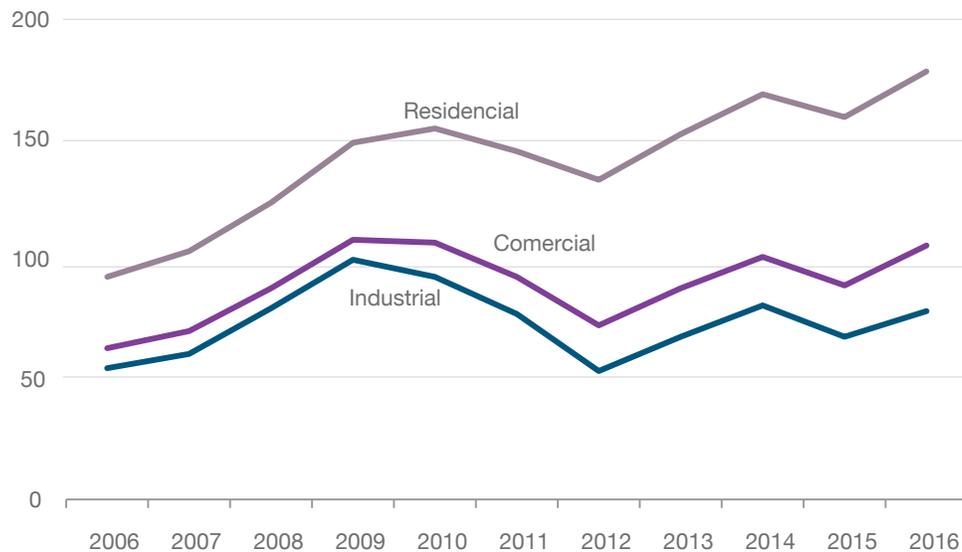


**ILUSTRACIÓN 13:** Demanda industrial por rama en 2016 y prospectiva para 2031

Fuente: SENER 2017a

## Precio

La Ilustración 14 muestra el desarrollo de los precios del gas natural por sector en los últimos 10 años. En el anexo 5 se incluyen los precios del gas LP como referencia.



**ILUSTRACIÓN 14:** Precios finales de gas natural a nivel nacional por sector (pesos por GJ a precios constantes de 2016)

Fuente: SENER 2016

Derivado de la liberalización de los precios de gas natural, la CRE suspendió la publicación del precio máximo de venta de primera mano de gas natural a partir del 17 de junio de 2017 y publica mensualmente un Índice de referencia Nacional de Precios de Gas Natural al Mayoreo - INPGN<sup>4</sup>, el cual refleja los precios de las transacciones realizadas libremente por los comercializadores del mercado. EL INPGN es 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.

### Conclusiones:

- La demanda de energía térmica de la industria es cubierta prácticamente en su totalidad por combustibles fósiles, siendo el gas natural el combustible más utilizado (58% del consumo de energía térmica en 2016).
- El consumo de gas natural en el sector industrial creció en 33% de 2006 a 2016 y se espera que represente el 64.4% de la demanda total de combustible fósiles en este sector para 2031, reemplazando incluso otros combustibles fósiles.
- El gas natural es el combustible más económico comparado con otros combustibles de uso común. Es por ello que se puede considerar como el competidor más importante de las tecnologías de calor solar de procesos en México.

4 <http://www.cre.gob.mx/IPGN/index.html>

## 1.4 Producción de calor a partir de fuentes renovables de energía

### Geotermia de media y baja temperatura

Estudios realizados por la UNAM estiman que la capacidad instalada de geotermia para aplicaciones de media y baja temperaturas (que incluyen secado de productos agrícolas, balnearios y balneología, invernaderos, calefacción de edificios y cultivo de hongos) es de aproximadamente 164 MW térmicos (ver tabla 3). Estos recursos se encuentran distribuidos en 19 estados de la República Mexicana.

**TABLA 4: Estimación de la utilización directa de calor geotérmico en aplicaciones de media y baja temperatura 2005**

Tipo	Capacidad (MW)	Energía (TJ/año)
Secado de productos agrícolas	0.01	0.18
Balnearios y balneología	164.00	3,913.44
Invernaderos	0.00	0.11
Calefacción de edificios	0.46	13.19
Otros (cultivos de hongos)	0.17	4.95
<b>Total</b>	<b>164.64</b>	<b>3,931.87</b>

Fuente: Santoyo-Gutierrez E. Y Torres-Alvarado I. 2010

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

### Bioenergéticos para la generación de calor

La leña, los residuos agrícolas y algunos residuos sólidos municipales pueden utilizarse con la tecnología de combustión directa para la generación de calor, electricidad o cogeneración a mediana y gran escala. Algunas de estas materias primas requieren tratamientos previos como reducción de tamaño, secado o transformación a pellets.

La leña es consumida por alrededor de 28 millones de personas en el medio rural, principalmente para la cocción de alimentos, la calefacción y el calentamiento de agua en el sector residencial. También se utiliza en pequeñas industriales rurales como tabiquerías, talleres alfareros, mezcaleras, panaderías y tortillerías.

El carbón vegetal se utiliza principalmente para preparación de alimentos, y en menor proporción en pequeñas industrias, donde su consumo no ha sido cuantificado. El bagazo de caña se usa como combustible en los ingenios azucareros.

Para utilizar la biomasa en aplicaciones industriales de generación de calor y electricidad a gran escala se requiere su combustión o gasificación para producir fluidos calientes (gases, aire, agua o vapor), lo que puede sustituir gas natural, petróleo, carbón o coque de carbón (Bioenergía 2011).

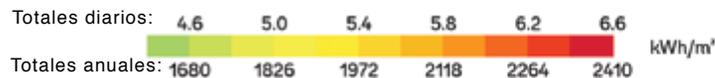
## Energía solar y mercado termosolar

México cuenta con un recurso solar abundante debido a su ubicación geográfica, entre 15° y 35° de latitud, lo cual representa condiciones ideales en la mayor parte del territorio para su aprovechamiento en la generación de calor a través de colectores solares térmicos ya que recibe en promedio 5.5 kWh/m<sup>2</sup>. En el noroeste del país la radiación excede los 8 kWh/m<sup>2</sup> en primavera y verano. El potencial anual de energía solar que puede ser captado por colectores solares oscila entre 4,115.44 y 4,390.95 kWh/m<sup>2</sup>. Lo anterior significa que cada metro cuadrado de superficie recibe una cantidad gratis de sol que corresponde a un rango de 411 y 493 m<sup>3</sup> de gas natural (ANES 2018).

Dependiendo del tipo de colector térmico que se utilice, se toma como referencia un tipo diferente de radiación solar. La irradiación horizontal global (Global Horizontal Irradiation - GHI) es relevante para el uso de los colectores estacionarios, como lo son los colectores planos o de tubos evacuados; mientras que la irradiación normal directa (Direct Normal Irradiation - DNI) se utiliza en el caso de los colectores de rastreo (como por ejemplo los colectores cilíndrico-parabólicos). La irradiación normal directa suele ser un poco más baja que la irradiación horizontal global porque solo considera la luz directa del sol, excluyendo la radiación solar difusa que es dispersada o reflejada por los componentes atmosféricos. El recurso solar disponible en México es favorable en ambos casos en la mayor parte del territorio.



### Promedio a largo plazo de GHI, periodo 1999-2015

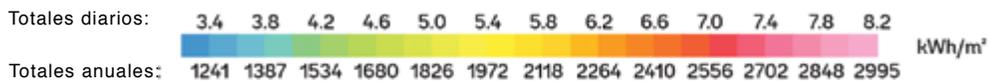


### ILUSTRACIÓN 15: Irradiación horizontal global (GHI) en México

Fuente: Banco Mundial 2017



**Promedio a largo plazo de DNI, periodo 1999-2015**



### ILUSTRACIÓN 16: Irradiación normal directa (DNI) en México

Fuente: Banco Mundial 2017

En el mercado termosolar mexicano destacan los siguientes tipos de colectores solares:

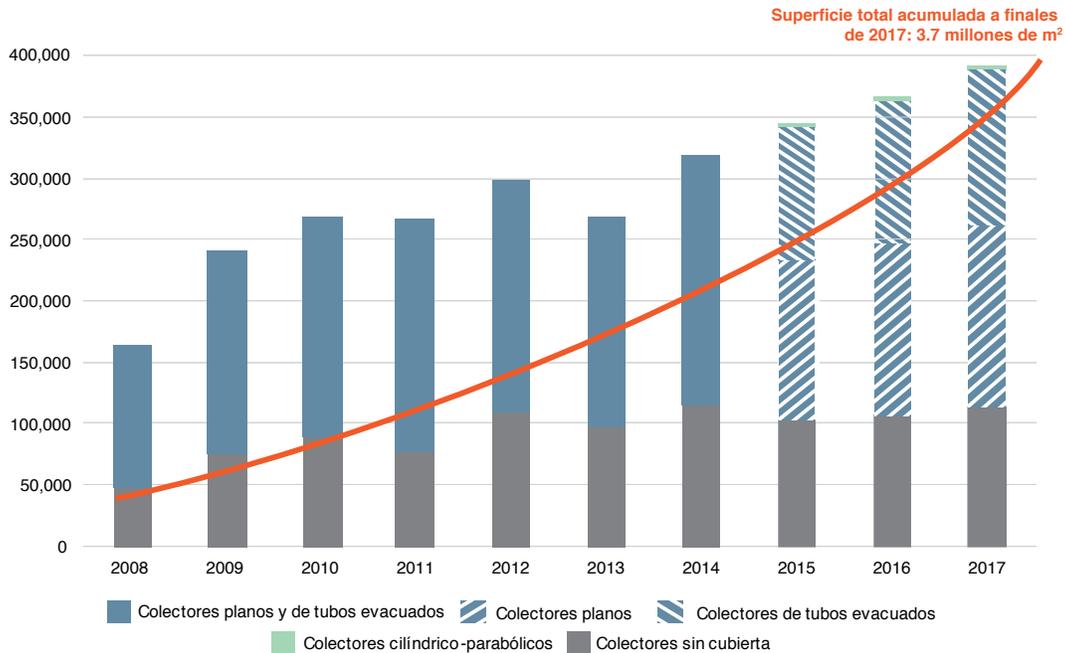
- Colectores de aire<sup>5</sup>
- Colectores de agua:
  - sin cubierta
  - planos
  - de tubos evacuados
  - cilíndrico-parabólicos

Los colectores de agua sin cubierta, planos y de tubos evacuados son los que tienen una mayor participación de mercado termosolar mexicano. Sin embargo y a raíz de la importación de colectores de tubos evacuados desde el 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 m<sup>2</sup>) (ANES 2018).

Por otra parte, los colectores de agua sin cubierta, planos y cilíndrico-parabólicos son los mayormente utilizados en procesos industriales. Los colectores planos son más conocidos y ampliamente usados que los colectores cilíndrico-parabólicos, sin embargo, se observa un crecimiento constante de esta tecnología en los últimos tres años.

<sup>5</sup> Los colectores de aire no son objeto de estudio en este documento.

El tamaño del mercado termosolar mexicano es relevante a nivel mundial y su crecimiento muestra una tendencia positiva en la última década. En términos de tamaño del mercado, el país ocupa el segundo lugar en América Latina después de Brasil, con una superficie total instalada de 3.7 millones de m<sup>2</sup> de colectores solares térmicos equivalentes a 2.5 GW térmicos al 2017 distribuidos en diferentes segmentos de mercado (vivienda, comercial, industria). En el mismo año se instalaron 394 mil m<sup>2</sup> de colectores lo cual representó un crecimiento del 7% respecto al año anterior (Solrico 2018). De acuerdo con datos de IRENA, se estima que existe un potencial solar para energía térmica de 33 GW distribuido en los sectores industrial y de edificios, de los cuales se calcula que 9 GW corresponden al sector industrial (Promexico 2018b). En el capítulo 2.3 se analiza con detalle el segmento de mercado correspondiente a las aplicaciones termosolares en la industria de México.



**ILUSTRACIÓN 17:** Superficie nueva de colectores solares instalada anualmente en México, 2008 - 2017 (m<sup>2</sup>/año)

Fuente: Elaboración propia con datos de Solrico, Solar Heat Worldwide, Inventive Power

### Investigación y desarrollo tecnológico

En México existen varios laboratorios que desde hace varias décadas están dedicados al estudio de la energía solar térmica. Los más importantes son el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Instituto de Energías Renovables.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM cuenta con una planta termosolar para la investigación sobre generación de vapor, además se realizan estudios de recubrimientos para superficies reflejantes, envejecimiento de materiales por causa de radiación ultravioleta, mapas de radiación ultravioleta para condiciones de México, espectrorradiometría para superficies y sistemas de fotocatalisis.

El Instituto de Energías Renovables cuenta con laboratorios para la realización de pruebas a colectores solares. Así mismo es la entidad encargada de dar seguimiento a los trabajos del CEMIE-Sol, en el cual se desarrollan líneas de investigación en materia de tanques de almacenamiento de energía solar térmica, sistemas de enfriamiento con energía solar térmica, laboratorios de pruebas para baja y media temperatura, y sistemas tornasolares asistidos por computadora.

## Conclusiones:

- Las fuentes de energía como la biomasa y los bioenergéticos son de uso común en las pequeñas industrias del país, mientras que no ocupan un papel relevante en la generación de calor en las grandes industrias. Es necesario contar con datos más precisos al respecto.
- México cuenta con un recurso solar abundante y favorable para el uso de diferentes tecnologías termosolares aptas para su aplicación en diferentes segmentos de mercado. El potencial anual de energía solar que puede ser captado por colectores solares oscila entre 4,115.44 y 4,390.95 kWh/m<sup>2</sup>. Cada metro cuadrado de superficie recibe una cantidad gratis de sol que corresponde a un rango de 411 y 493 m<sup>3</sup> de gas natural.
- México cuenta con una superficie total instalada de 3.7 millones de m<sup>2</sup> de colectores solares de agua (7% de crecimiento respecto al año anterior) en diferentes segmentos de mercado (vivienda, comercial e industria). Su tendencia de desarrollo a sido positiva a lo largo de la última década y es el segundo mercado más grande de América Latina después de Brasil.
- El país cuenta con una sólida plataforma de investigación y desarrollo que juega un papel muy importante en el mejoramiento, despliegue y penetración de la tecnología termosolar en los diferentes segmentos de mercado.

## 1.5 Políticas energéticas, marco normativo y programas de apoyo

### Políticas energéticas y marco normativo

Tanto en la Ley de Transición Energética (LTE), como en la Ley de Cambio Climático (ver capítulo 1.2.) se establecen objetivos para la participación de las energías limpias en la mezcla energética mexicana, con los cuales México se comprometió también en el marco de la Cumbre Climática de París 2015.

Los instrumentos de planeación de la política nacional de energía en materia de energías limpias y eficiencia energética establecidos por la LTE son la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, el Programa Especial de la Transición Energética (PETE) y el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE).

La LTE tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica. En este contexto se han establecido metas a fin de que el consumo de energía eléctrica se satisfaga mediante un portafolio de alternativas que incluyan a la eficiencia energética<sup>6</sup> y una proporción creciente de generación con energías limpias y renovables. Sin embargo, no existe una definición de metas referentes al consumo de energía térmica (calor) y su generación mediante energías limpias y/o renovables.

---

<sup>6</sup> La Ley de Transición Energética define a la eficiencia energética como todas las acciones que conllevan a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad de igual o superior.

El PRONASE establece la meta en materia de eficiencia energética, mientras que la CONUEE integra y actualiza información con indicadores, tales como el de intensidad energética<sup>7</sup>. La meta de eficiencia energética fijada es reducir la intensidad energética al 1.9% de consumo nacional en el periodo 2016–2030; y 3.7% en el periodo 2031-2051 con un promedio de 2.9%. La participación de energías limpias en la generación eléctrica deberá llegar al 25% para finales del 2018, al 30% para el 2021 y al 35% para el año 2024. Para el 2050 incluso se pretende alcanzar un 50%.

El marco legal también permite que se establezcan políticas y medidas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables y para la sustitución de combustibles fósiles en el consumo final. No obstante, al no haber una clara definición de metas para el consumo de energía térmica mediante energías renovables, el papel de la energía solar queda limitado a la generación de energía eléctrica.

Es por ello que las leyes y los programas promulgados en el marco de la reforma energética representan un cambio de paradigma en la política energética mexicana, lo cual ha fomentado el crecimiento del mercado solar fotovoltaico de gran escala (generación de electricidad). Los objetivos de la reforma energética son la reducción en los costos de operación, el fomento de las energías limpias, una distribución justa de las ganancias, una mayor transparencia y el fomento a las inversiones (Pontes 2017). No obstante, dicha reforma no ha tenido un impacto directo en el mercado de calor solar para la industria.

La legislación que favorece actualmente el uso de la energía solar térmica en México se menciona a continuación en la tabla 5.

**TABLA 5: Legislación: Leyes nacionales que incentivan el uso de la energía solar térmica**

Legislación	Contenido	Aplicación
NADF-008-AMBT-2005 (Norma ambiental para la Ciudad de México)	Establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en piscinas, regaderas, lavamanos, cocina, lavanderías y tintorerías.	Se aplica solamente para empresas con más de 51 empleados, las cuales están obligadas a que al menos el 30% de la energía que consume sea suministrada con sistemas solares.
Reglamento de construcciones del municipio de Centro, Estado de Tabasco 2012	Establece los mismos criterios que la NADF-008-AMBT-2005, Norma ambiental para la Ciudad de México.	
ISR (Ley del Impuesto Sobre la Renta)	En su artículo 34, apartado XIII, establece el 100% de deducibilidad de maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables.	Aplica para el primer año para personas morales.

Fuente: Elaboración propia datos ANES

## Normas Mexicanas

Las normas para sistemas solares que rigen en México se refieren principalmente a sistemas prefabricados que se destinan al calentamiento de agua.

Estas normas se caracterizan por establecer el método de ensayo para evaluar y comparar el comportamiento térmico de sistemas solares de calentamiento de agua, principalmente para uso doméstico (sector vivienda) hasta una capacidad máxima de 500 litros y hasta una temperatura máxima de 90°C.

<sup>7</sup> Cantidad de energía consumida por actividad de subsector y su uso (generalmente se usa algún indicador económico como el PIB). Es decir, se dice que es la cantidad de energía consumida por producción del PIB o PIB per cápita, entre otros.

Actualmente no se cuenta con un marco normativo específico para el diseño, instalación y puesta en marcha de proyectos solar térmicos aplicados en procesos industriales. Sin embargo, la experiencia con los programas y proyectos instalados hasta el momento demuestra que se requiere tener certeza técnica y económica en las diversas etapas de implementación de los proyectos y que valide la calidad de una instalación.

Diferentes actores del mercado, incluyendo fabricantes, asociaciones e instancias reguladoras como la CONUEE, tienen como objetivo dar certeza técnica con base en normas mexicanas (NMX)<sup>8</sup> y esquemas de competencias laborales.

El Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar (NESO-13), adscrito a la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación (NORMEX, S.C), fue creado en el 2004 y está compuesto por fabricantes, distribuidores, instituciones gubernamentales, instituciones de educación superior, centros de investigación, laboratorios de prueba, ANES, entre otros. Su función consiste en revisar las normas existentes a nivel nacional e internacional y proponer las actualización y/o adaptación de las normas mexicanas.

**TABLA 6: Normas Mexicanas (NMX) para sistemas termosolares, principalmente para equipos de baja temperatura**

Norma	Nombre	Objetivo	Comentarios
NMX-ES-001-NORMEX-2005	Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento solar de agua métodos de prueba y etiquetado	Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua. Métodos de prueba y etiquetado. Esta norma aplica tanto para colectores planos como para colectores de tubos evacuados.	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
NMX-ES-002-NORMEX-2007		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 homogeneizar el lenguaje en los ámbitos científicos, técnicos y comerciales	
NMX-ES-003-NORMEX-2007		Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos, para calentamiento solar de agua	Se especifican los requisitos de durabilidad, confiabilidad y seguridad.
NMX-ES-004-NORMEX-2010	Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua. Método de prueba	Se caracterizan en general por establecer el método de ensayo para evaluar y comparar el comportamiento térmico de sistemas solares de calentamiento de agua, principalmente para usos domésticos hasta una capacidad máxima de 500 litros y hasta una temperatura máxima de 90°C	Esta norma se basa en la norma EN 12976-1:2006
DTESTV	Dictamen técnico de energía solar térmica en vivienda	Se basa en evaluar la resistencia al sobrecalentamiento, que determina si el sistema solar está protegido contra daños provocados por alta irradiación.	Se utiliza preferentemente para sistemas prefabricados

Fuente: Elaboración propia, con información del Instituto de Ingeniería, documentos ANES, CONUEE

<sup>8</sup> En México existen las normas mexicanas (NMX), las cuales son voluntarias, y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que son obligatorias.

## Estándares de Competencia Laboral

El Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias (CONOCER), es una entidad paraestatal sectorizada en la Secretaría de Educación Pública (SEP) que impulsa la competitividad de las organizaciones y certifica las competencias de las personas, y cuenta con los siguientes estándares cuyo impacto aplica de manera directa al sector vivienda y de servicios más no al industrial:

TABLA 7: Estándares de competencia laboral aplicables en México

Siglas	Descripción	Certificados emitidos al 31 de octubre de 2017
EC0325	Instalación de sistemas de calentamiento solar de agua termosifónico en vivienda sustentable	619
EC0412	Gestión de eficiencia energética en la organización	82
EC0473	Instalación de sistemas de calentamiento solar de agua de circulación forzada con termostanque	109

Fuente: Elaboración propia datos de CONOCER y ANES

## Programas de apoyo y difusión

Dos programas que tuvieron un impacto positivo en el desarrollo del mercado termosolar, especialmente en el sector vivienda en México fueron el PROCALSOL de la CONUEE con la asistencia de la GIZ, y la Hipoteca Verde del INFONAVIT:

- **PROCALSOL (2007-2012):** En el marco de este programa se estableció un grupo de trabajo permanente para la cooperación y coordinación interinstitucional entre los actores clave del desarrollo de la energía solar térmica en México. Su objetivo fue promover el uso de esta tecnología mediante la instalación de 1.8 millones de m<sup>2</sup> de calentadores solares para el año 2012 en diferentes sectores, vivienda, servicios, industria, agro negocios. Así mismo se implementaron mecanismos de promoción específicos para cada sector. El programa también se enfocó fuertemente en el desarrollo de mecanismos financieros y de garantía de calidad en el programa de vivienda social como lo fue el Programa Hipoteca Verde del INFONAVIT (GIZ, 2015).
- **Hipoteca Verde (2007 – 2015).** A través de este programa el INFONAVIT otorgó un crédito adicional para que los derechohabientes incluyeran en sus viviendas ecotecnologías como los calentadores solares de agua. Se otorgaron más de 395 mil financiamientos (García & Pilatowsky 2017) para la adquisición de vivienda social que incluía la instalación de calentadores solares de agua.
- **25,000 Techos Solares (2009 - 2015).** El programa de Hipoteca Verde fue complementado con el programa 25,000 Techos Solares de la GIZ. A partir de 2009, por encargo del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU por sus siglas en alemán), la GIZ acordó con el Gobierno de México por medio de la Iniciativa Internacional de Protección al Clima (IKI por sus siglas en alemán) unir esfuerzos para el otorgamiento de 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 Hipoteca Verde. Este programa se desarrolló en dos fases: 2009-2012 (propuesta original) y 2013-2015 (extensión) (GIZ 2015).

En 2017 la CONUEE, ANES y GIZ acordaron sumar esfuerzos para poner en marcha la **Iniciativa Calor Solar** que la GIZ implementa por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ por sus siglas en alemán). En este programa la GIZ trabaja con CONUEE y ANES con el objetivo de incrementar el aprovechamiento de la energía solar térmica en

la industria y otros sectores en México con sistemas de mediana y gran escala. Se espera que este programa sea una plataforma interinstitucional donde interactúen organismos claves del sector solar en alianza con la industria. Las actividades de la iniciativa se dividen en cinco grupos de trabajo:

- Regulaciones, normas y metrología
- Capacidades técnicas y recursos humanos
- Modelos de negocio y financiamiento
- Demanda y promoción
- Tecnología, investigación y desarrollo aplicado

### Esquemas de apoyo financiero

En México existen diversas opciones de financiamiento que pueden utilizarse actualmente para el uso de energía termosolar sobretodo en el sector vivienda, agropecuario y de servicios (hoteles). Varios de esos programas se llevan a cabo con recursos del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE), provenientes del Presupuesto de Egresos de la Federación. Dichos programas son coordinados por distintas instituciones como el FIDE, la CONUEE o la SAGARPA.

Los programas que apoyan el uso de sistemas de calentamiento solar de agua actualmente son los siguientes:

**TABLA 8: Programas de apoyo financiero para calentamiento solar de agua en México**

Programa	Segmento de mercado	Tipo de apoyo	Institución implementadora	Instituciones participantes
Programa del Fomento a la Agricultura	Agronegocios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo directo y financiamiento</li> <li>• Hasta el 50% del valor del sistema, con un monto máximo de 500,000 pesos</li> <li>• Periodos cortos de recuperación de inversión (3 a 5 años en la mayoría de los casos)</li> </ul>	FIRCO	
FONAGA VERDE (Programa de Eficiencia Energética)	Empresas Agroindustriales	Garantías para apoyar proyectos de inversión	FIRA	Instituciones financieras y afianzadoras
Eco-Crédito Empresarial Masivo (antes Programa de Ahorro y Eficiencia Energética Empresarial – PAEEM)	MIPYMES usuarias del servicio público de energía eléctrica de la CFE que se encuentren en las tarifas comerciales 2, 3 y OM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crédito simple con tasa de interés preferencial para adquirir calentadores solares de agua</li> <li>• Adquisición a través de proveedores con el Sello FIDE<sup>1</sup></li> <li>• El monto máximo es de 2 millones de pesos a una tasa máxima de 20% anual fija y un plazo de hasta 4 años</li> </ul>	FIDE	SENER, SE, NAFIN, CFE y FIDE
Eco-Crédito Individual	MIPYMES y personas físicas con actividad empresarial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crédito simple con tasa de interés preferencial (hasta 13%)</li> <li>• Crédito hasta 15 millones de pesos</li> <li>• Plazo hasta 8 años</li> <li>• Requisito: Diagnóstico previo que identifique potenciales ahorros</li> </ul>	NAFIN	Banregio (se requiere que el banco realice análisis que incluya flujos de ahorro futuro generados en el cálculo de la capacidad de endeudamiento)
Mecanismo Financiero Piloto para la Península de Yucatán	Sector servicios: hotelesw	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crédito simple para adquisición e instalación de sistemas de calentamiento solar de agua</li> <li>• Tasa tope TIIE + 6 puntos (hasta 8 millones de pesos)</li> <li>• Tasa tope TIIE + 5 puntos (de 8 hasta 15 millones de pesos)</li> <li>• Plazo hasta 5 años</li> <li>• También apoya actividades como capacitación, certificación de competencias, difusión y demostración</li> </ul>	CONUEE	PNUD, CONUEE, Bancomext, BanBajío, UniCaribe

<sup>1</sup>El sello FIDE es un distintivo que se otorga a productos que inciden directa o indirectamente en el ahorro de energía eléctrica. Comprar productos con Sello FIDE garantiza que son equipos o materiales de alta eficiencia energética, o de características tales que le permitan coadyuvar al ahorro de energía eléctrica.

Fuente: GIZ, NAFIN, FIDE

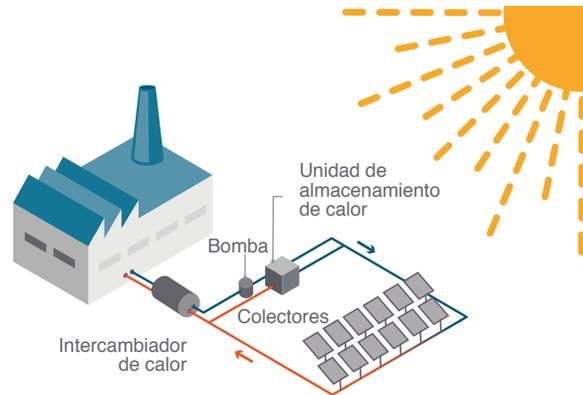
## Conclusiones:

- La nueva regulación del sector energético mexicano está fuertemente orientada hacia los hidrocarburos y al mercado eléctrico. Es necesario definir metas, programas, mecanismos e indicadores enfocados al consumo de energía térmica (calor), así como a la generación de energía 100% limpia a través de tecnologías termosolares para cubrir la demanda térmica de la industria.
- Programas previos enfocados al sector vivienda (Hipoteca Verde del INFONAVIT y el PROCALSOL), así como el programa de energía renovable del FIDE han sido muy importantes para la penetración de mercado, particularmente en el sector residencial, de la energía termosolar en México.
- El diseño e implementación de programas de difusión, capacitación y esquemas de financiamiento para la tecnología termosolar en el sector industrial son indispensables para incrementar su participación de mercado. La nueva plataforma de Calor Solar será clave para impulsar un mayor desarrollo en el sector de calor solar de procesos.
- La experiencia de las aplicaciones termosolares en el sector vivienda y comercial ha dado la pauta para implementar esquemas de aseguramiento de calidad y certeza técnica que afiancen el desarrollo de este mercado. No obstante, dichos esquemas aún no cubren todos los aspectos necesarios para las aplicaciones termosolares en el sector industrial.

CAPÍTULO 2  
**EL MERCADO DE CALOR SOLAR  
DE PROCESOS**



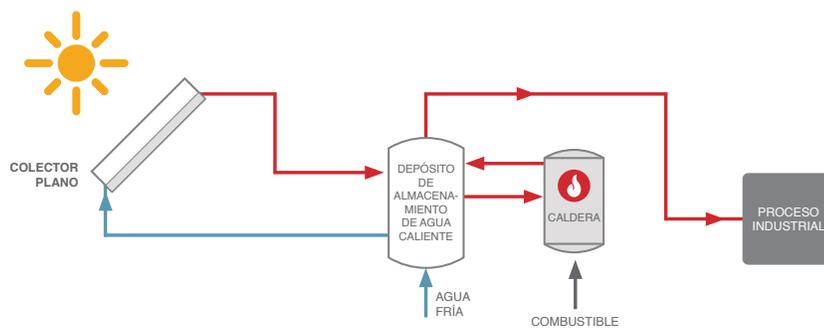
## 2.1 Introducción al calor solar para procesos industriales (SHIP)



### ILUSTRACIÓN 18: Esquema de una planta SHIP

Fuente: Solar Payback 2017

Los colectores termosolares convierten la radiación solar en calor utilizable. SHIP es el acrónimo en inglés que describe un sistema que provee de energía solar térmica a una planta industrial (Calor Solar para Procesos Industriales - Solar Heat for Industrial Processes). La ilustración 18 muestra una planta SHIP donde un campo de colectores solares calientan el fluido de proceso y los intercambiadores de calor transfieren este calor a un sistema o proceso productivo en la planta, en forma de agua caliente, flujo de aire o vapor. Las unidades de almacenamiento permiten que el calor generado sea utilizado incluso durante la noche. Usualmente la energía termosolar solo da soporte a un proceso de calentamiento existente y es optimizado de acuerdo a la demanda en tiempos de máxima irradiación, especialmente durante el verano.



### ILUSTRACIÓN 19: Gráfica simplificada de un circuito de proceso térmico

Fuente: Solar Payback 2017, IRENA 2014

Expuesto al sol, el colector calienta el líquido de transferencia térmica (ya sea aire caliente, agua, agua con glicol para protección contra congelamiento o aceite térmico). Los colectores están conectados al proceso productivo o a un tanque de almacenamiento, ya sea de manera directa o a través de un intercambiador de calor. El líquido de transferencia térmica es movido dentro del circuito solar mediante bombas eléctricas.

Los colectores pueden ser clasificados como estacionarios y de rastreo. Los colectores estacionarios están orientados hacia el sol sobre bastidores fijos. Pueden ser colectores sin cubierta, de aire, planos o de tubos evacuados.

Los colectores de rastreo trabajan con el principio de reflejar y concentrar la radiación solar directa en su foco (un punto o línea), utilizando la radiación solar concentrada como fuente de energía térmica de alta temperatura para producir calor de proceso. Los elementos de espejo que reflejan y concentran la radiación solar varían en geometría y tamaño. Para facilitar la concentración de la irradiación normal directa (DNI), los espejos deben rastrear continuamente el recorrido del sol, moviéndose en uno o dos ejes.

Los colectores Fresnel lineares y los colectores cilíndrico-parabólicos son sistemas de rastreo de un solo eje. Los colectores de plato parabólico en su mayoría son soluciones de rastreo en dos ejes. Por ende estos sistemas hacen sentido en áreas con una alta irradiación solar directa. Pueden generar calor con temperaturas que alcanzan hasta 400°C o más para la generación de energía eléctrica y pueden operar presurizando agua o aceite térmico.

---

### Colector de aire

Los colectores de aire utilizan aire para transportar el calor. Los diferentes tipos de colector utilizan tubos cubiertos, sin cubrir o de vacío para coleccionar el calor aprovechable. Se basan en la convección o utilizan ventiladores para transportar el aire a través de un sistema de tubos bien aislado. En los procesos industriales los colectores de aire son convenientes para procesos de secado, suministrando aire caliente con temperaturas de hasta 100°C.



Foto: Grammer

---

### Colector plano

Los colectores planos utilizan agua para transportar calor a un intercambiador de calor, un tanque de almacenamiento o hacia el proceso productivo. Consisten en una caja aislada que contiene un absorbedor metálico con un sistema de tuberías debajo para transportar el calor. La caja está cubierta con una o dos placas de vidrio, alternadamente cubierta de antirreflejante para reducir las pérdidas de transmisión de calor. Logran temperaturas de operación de entre 30 y 90°C y se fabrican en muchos países. Para aplicaciones de calor solar de proceso usualmente se utilizan colectores de gran escala. Los colectores planos evacuados pueden proveer incluso temperaturas más altas al reducirse las pérdidas por convección.



Foto: Bärbel Epp

---

### Colector de tubos evacuados

Los colectores de tubos evacuados utilizan el vacío como aislante para proteger el absorbedor del medio ambiente. Los colectores de tubos evacuados de vidrio doble consisten en dos tubos con un vacío entre ambos; los colectores de tubos evacuados de vidrio simple consisten de un solo tubo. En los colectores de flujo directo, el líquido de transferencia térmica fluye directamente a través del tubo. En los colectores "heat pipe" o tubo U, un circuito separado al interior del tubo transporta el calor coleccionado a la parte superior del tubo, donde la energía es transferida al circuito de calentamiento al interior del colector.

Existen también los colectores de tubos evacuados con una superficie de metal reflectora detrás de los tubos, que se conoce como concentradores parabólicos compuestos (CPC por sus siglas en inglés). Su función es incrementar la eficiencia del colector ya que refleja la radiación desde diferentes ángulos hacia los tubos.

Los colectores de tubos evacuados pueden proveer temperaturas de entre 50 y 150°C.



Foto: Linuo Paradigma

---

### Colector cilíndrico-parabólico (parabolic trough)

En los colectores cilíndrico-parabólicos los espejos curvos reflejan la luz solar hacia un tubo receptor. Los espejos o canales generalmente están alineados sobre ejes norte-sur y rotan de este a oeste para rastrear al sol durante su recorrido diario. Se pueden obtener temperaturas de hasta 400°C y la producción directa de vapor es posible. Los niveles de temperatura dependen del tamaño del canal parabólico y de la evacuación del tubo receptor.



Foto: Inventive Power

---

### Colector Fresnel lineal

Los colectores Fresnel concentran el sol a través de diversos espejos planos que rastrean la luz solar en un eje hacia un tubo receptor central. Los espejos individuales son fáciles de reemplazar y la exposición al viento es mínima. Existen colectores Fresnel que tienen un espejo secundario colocado encima el tubo receptor para reflejar luz de regreso al absorbedor. Se pueden obtener temperaturas de hasta 400°C y la producción directa de vapor es posible.



Foto: Industrial Solar / Silke Anders

---

### Colector de plato parabólico

Los colectores de platos parabólicos concentran la irradiación solar hacia un punto y producen altas temperaturas de hasta 400°C, dependiendo del tamaño del campo del espejo y de la evacuación del tubo receptor. Un ejemplo son los discos Scheffler que se utilizan para cocinar en la India. El rastreo en dos ejes requiere de un alto grado de precisión.



Foto: ARS Glasstech

---

## TABLA 9: Panorama de los tipos de colectores para la generación de calor solar de proceso

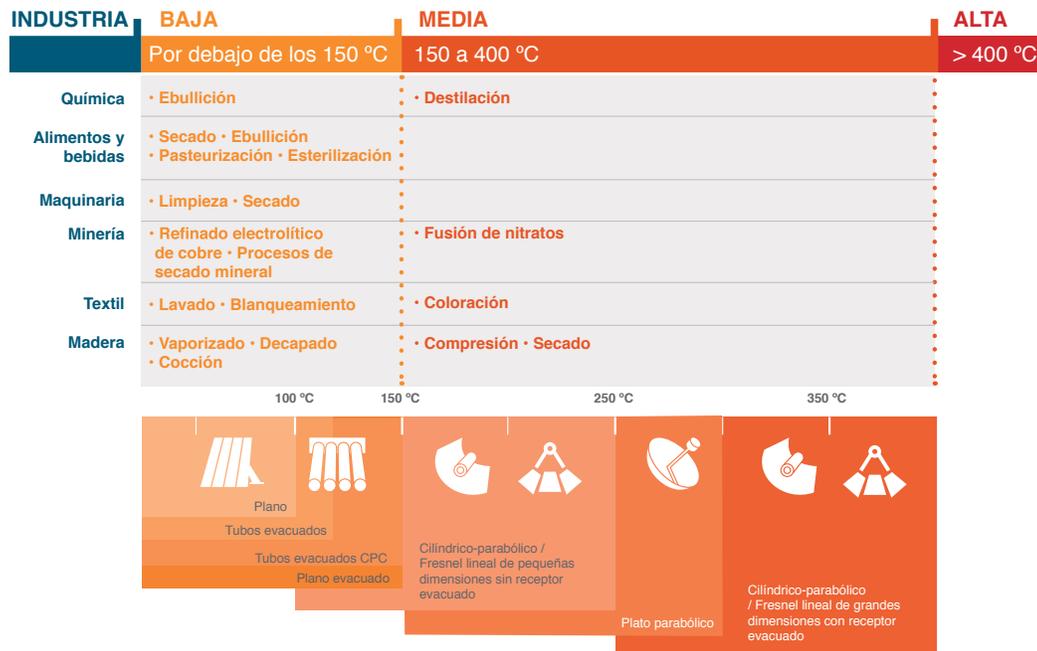
Fuente: Investigación propia

### Rangos de temperatura

Los niveles de temperatura de los procesos industriales varían típicamente de acuerdo al proceso productivo y están clasificados en tres rangos (ver ilustración 20): el rango temperaturas hasta 150°C (baja), el rango de temperaturas entre 150 y 400°C (media), y el rango de temperaturas mayores a 400°C (alta). Muchos procesos industriales en la industria química, de alimentos o bebidas, maquinaria, minería, textil y maderera utilizan temperaturas que pueden ser generadas fácilmente con tecnologías termosolares, ya sea en forma de agua caliente o vapor. Dado que los costos fijos dominan la estructura global de costos para la energía termosolar, los procesos que tienen cargas pico en verano y aquellos que se llevan a cabo a lo largo de todo el año son de especial interés para aplicaciones termosolares. El aspecto económico mejora entre más altos sean los costos para las fuentes de energía competidoras.

La selección del tipo de colector termosolar a utilizar depende en gran medida del nivel de temperatura requerido. En algunas aplicaciones, como por ejemplo los procesos de lavado y secado, únicamente se requieren temperaturas bajas de alrededor de 50°C. Para esta temperatura se utilizan principalmente colectores planos o de aire. Numerosos procesos industriales requieren niveles de temperatura de hasta 95°C. Sin embargo, tanto los colectores de tubos evacuados como los colectores planos mejorados son capaces de proporcionar esa temperatura con un muy buen nivel de eficiencia. Se pueden alcanzar temperaturas más altas si se utiliza el vacío como aislante, como lo es en el caso de los nuevos colectores planos evacuados o los de tubos evacuados con reflector CPC que son utilizados para aplicaciones industriales con temperaturas de hasta 150°C.

Cuando la temperatura sobrepasa los 140°C la radiación solar debe ser concentrada. Los factores de concentración más altos de los colectores cilíndricos-parabólicos, de los colectores Fresnel lineales o los colectores de plato parabólico ofrecen temperaturas de operación de hasta 400°C. Para la mayoría de las aplicaciones en este segmento se puede utilizar más de un tipo de colector. Los criterios son, entre otros, el espacio disponible, la situación económica y la ubicación geográfica.



## ILUSTRACIÓN 20: Rangos de temperatura, aplicaciones y tecnología

Fuente: Solar Payback 2017, IEA/SHC 2012-2016

## 2.2 El calor solar de procesos en México

### Manufactura de colectores solares para procesos industriales

La industria solar en México data de los años setenta, las primeras empresas dedicadas a la energía solar térmica comenzaron fabricando colectores de agua sin cubierta y planos. Hasta 2008 los fabricantes mexicanos suministraban la mayor parte de la demanda del mercado nacional.

Durante 2014 las plantas de manufactura nacionales produjeron aproximadamente 142 mil m<sup>2</sup> de colectores planos, soportada principalmente por 7 empresas mexicanas: Módulo Solar, Desarrollo, IUSA, Captasol, Sunway, Oro Solar y Kioto Clean 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 lo anterior, 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 m<sup>2</sup> de colectores. Con ello, es 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.

Además de los colectores planos en México se fabrican colectores de rastreo, como los colectores cilíndrico-parabólicos. Hasta el momento existe solamente un fabricante, Inventive Power, empresa ubicada en Jalisco que fabrica esta tecnología en México desde el 2013.

### Proveedores SHIP llave en mano

Un proyecto SHIP llave en mano incluye los colectores solares, las tuberías, las estructuras de apoyo, el diseño y la puesta en marcha del sistema. Según la investigación realizada por Solrico para el proyecto Solar Payback en 2016 dos empresas mexicanas ocupan el segundo y tercer lugar de los proveedores SHIP llave en mano a nivel mundial por número de referencias: Inventive Power y Módulo Solar (Solar Payback 2017). Además de estos dos casos, existen otras empresas ofertando soluciones térmicas solares para su aplicación en procesos industriales, como lo indica la tabla 10.

**TABLA 10: Las empresas más representativas ofertando soluciones térmicas solares para industria**

País	Empresa	Tecnologías para calor de procesos
México	Modulo Solar*	Colectores sin cubierta, planos y de tubos evacuados
México	Inventive Power	Colectores cilíndrico-parabólicos
México	Heliocol	Colectores sin cubierta, planos y de tubos evacuados (heat pipe)
México	Tecnosol	Colectores planos
México	Captasol*	Colectores planos
Dinamarca	Savosolar / Jorgensen	Colectores planos
México	Citrus JMK	Colectores cilíndrico-parabólicos (Inventive Power)

\* También es fabricante de colectores de aire con cubierta de vidrio y/o policarbonato

Fuente: ANES 2018

## 2.3 Capacidad SHIP instalada y aplicaciones en México

### Capacidad SHIP instalada en México

Actualmente no existe un registro oficial para el seguimiento de proyectos de calentamiento solar para aplicaciones industriales en México. En el balance nacional de energía del año 2016 se reporta un consumo de energía solar de 0.62 PJ en el sub sector industrial de "Otras Ramas". Sin embargo este consumo no distingue entre energía solar térmica y solar fotovoltaica.

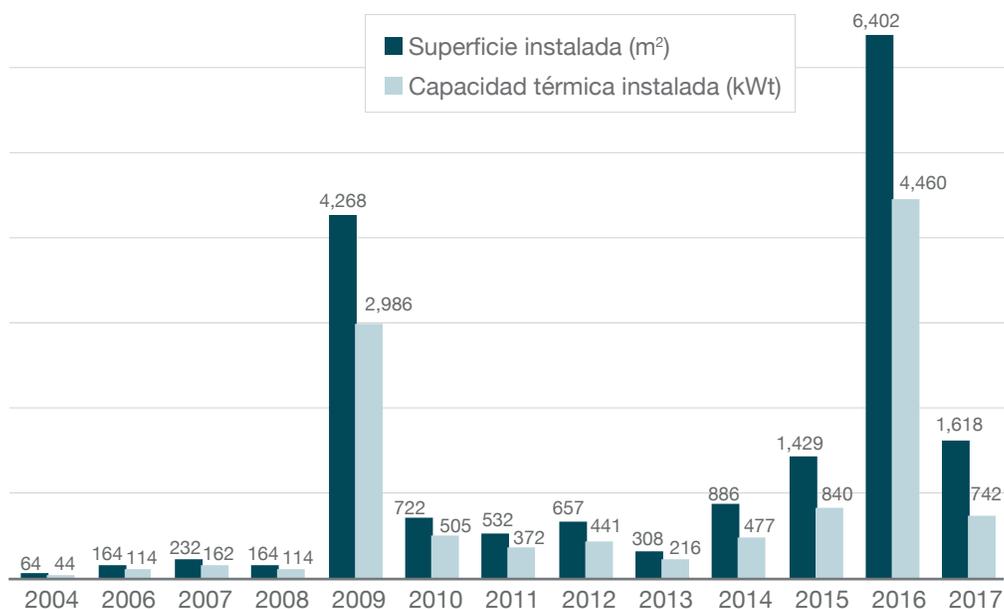
Los fabricantes e instaladores de colectores solares en México han incursionado en la instalación de proyectos para generar calor para procesos desde hace más de 10 años. Las aplicaciones del calor solar en los procesos industriales en México son diversas, desde el calentamiento de agua para utilizarse directamente en los procesos o ser introducida en las calderas para generar vapor, la calefacción de espacios, hasta el enfriamiento de fluidos en procesos de pasteurización.

En 2017 México encabezó el ranking de los países con mayor número de proyectos de calor solar de procesos registrados a nivel mundial con 36 sistemas (6,411 m<sup>2</sup>), seguido por la India con 22 (11,513 m<sup>2</sup>) y China con 19 (11,543 m<sup>2</sup>) (Solar Thermal World 2018).

Un registro más detallado de los proyectos de calor solar de procesos a nivel mundial se encuentra en la plataforma [www.SHIP-Plants.info](http://www.SHIP-Plants.info), creada en el marco del Grupo de Trabajo 49/IV de la Agencia

Internacional de Energía. Hasta julio de 2017<sup>9</sup> se registraron 43 instalaciones SHIP con una superficie bruta total de 17,446 m<sup>2</sup> equivalentes a 11,472 kWt en diferentes subsectores industriales en México, de los cuales 22 proyectos han sido realizados por la empresa Inventive Power, 20 por la empresa Módulo Solar y 1 por la empresa danesa Arcon-Sunmark.

La ilustración 21 indica la tendencia de capacidad instalada para sistemas de calentamiento solar para la industria en México del año 2004 a 2017, en la cual se observan dos picos importantes, siendo el principal el del año 2016 que corresponde al proyecto instalado por la empresa Arcon-Sunmark para la industria minera Peñoles (6,270 m<sup>2</sup> equivalentes a 4,400 kWt). El monto total de inversiones para la instalación llave en mano dichos sistemas representó un total de 55.5 millones de pesos (2.65 millones de euros)<sup>10</sup>, cifra que excluye el monto de inversión del proyecto Peñoles ya que no se cuenta con este dato.



### ILUSTRACIÓN 21: Proyectos SHIP instalados en México anualmente

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

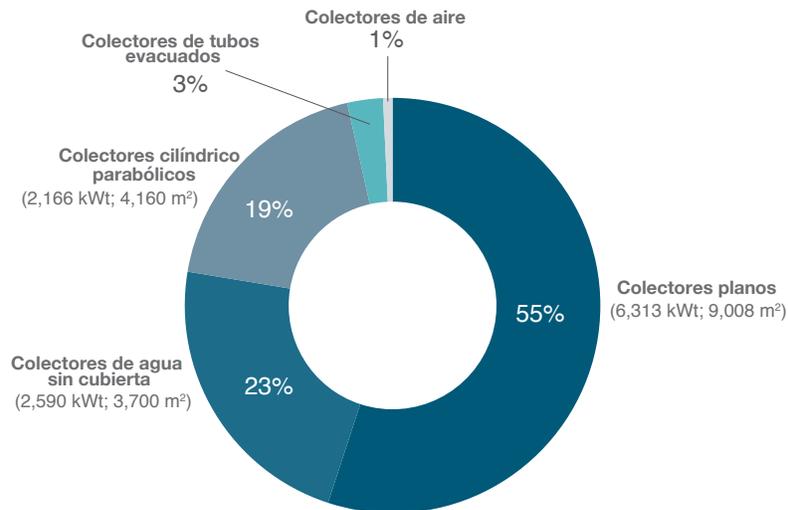
Estos 43 casos de éxito de proyectos SHIP pueden ser consultados en el anexo 5. Es importante mencionar que debido a que este registro es voluntario es muy posible que un gran número de instalaciones solares térmicas con aplicaciones industriales no estén representadas, sin embargo la base de datos provee una muestra representativa de la industria y del mercado en México.

<sup>9</sup> Fecha de corte para la elaboración de las gráficas presentadas en este capítulo.

<sup>10</sup> Tipo de cambio del 31 de julio de 2017: 20.9596 pesos por euro.

## Instalaciones SHIP en México por tipo de tecnología, industria y aplicación

De la capacidad total térmica instalada de calor solar de procesos en México (11,472 kWt; 17,446 m<sup>2</sup>), las tecnologías predominantes en el mercado son los colectores planos (6,313 kWt; 9,008 m<sup>2</sup>) seguido de los colectores de agua sin cubierta (2,590 kWt; 3,700 m<sup>2</sup>) y los colectores cilíndrico-parabólicos (2,166 kWt; 4,160 m<sup>2</sup>). La contribución de los sistemas con colectores de tubos evacuados y de aire es mínima.



### ILUSTRACIÓN 22: Instalaciones SHIP en México por tipo de tecnología solar (total 11,472 kWt)

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

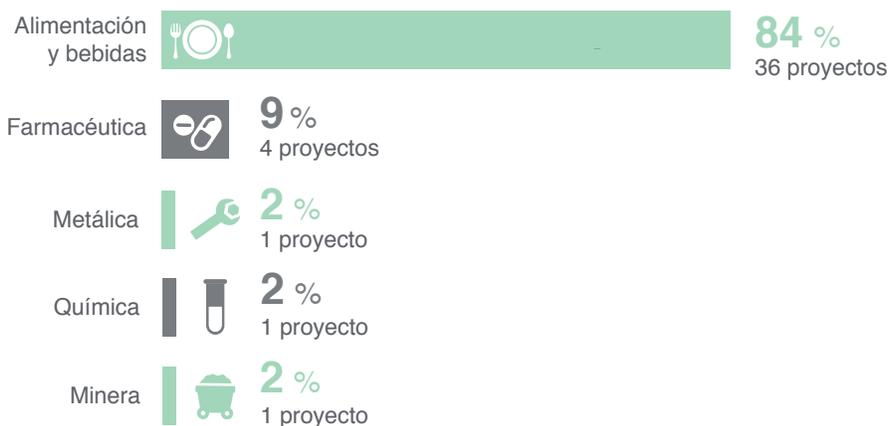
Por otra parte, 43% corresponde a los sistemas realizados por la empresa Módulo Solar (4,906 kWt; 7,016 m<sup>2</sup>), 38% corresponde a la instalación de la empresa Arcon Sunmark (4,400 kWt; 6,270 m<sup>2</sup>) y el restante 19% (2,166 kWt; 4,160 m<sup>2</sup>) a los sistemas instalados por la empresa Inventive Power.



### ILUSTRACIÓN 23: Capacidad térmica instalada de los proyectos SHIP en México proveedor y tipo de tecnología (total 11,472 kWt)

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

84% de las instalaciones están relacionados con la industria alimenticia en alguna parte de su cadena de valor.



#### ILUSTRACIÓN 24: Proyectos SHIP instalados por tipo de industria (total: 43 proyectos)

TABLA 11: Número de proyectos SHIP instalados por subsectores industriales

Actividades	Número de proyectos
Fabricación de productos lácteos	12
Elaboración de productos alimenticios	7
Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	6
Elaboración de bebidas	5
Fabricación de alimentos preparados para animales	4
Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	4
Fabricación de harina y productos de panadería	1
Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	1
Fabricación de sustancias y productos químicos (lubricantes)	1
Mina de cobre	1
Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas	1
<b>Total</b>	<b>43</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

Los rangos de temperatura de los 43 proyectos registrados oscilan entre los 20 y los 100°C y la fracción solar (porcentaje de la demanda de calor que es posible abastecer mediante sistema solares), de los proyectos que cuentan con esta información, ronda entre el 20 y el 75%.



**ILUSTRACIÓN 25: Número de proyectos SHIP por tipo de aplicación (total: 43 proyectos)**

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

### Distribución geográfica

Los proyectos se ubican en 16 estados del país. La distribución espacial de los proyectos tiene que ver en gran medida por la ubicación de las operaciones de las empresas, la ubicación de las empresas donde se realizan los proyectos, la disponibilidad del recurso solar, disponibilidad de combustibles, entre otros. El estado de la República con el mayor número de proyectos SHIP registrados es Jalisco (13). No obstante, la mayor capacidad térmica instalada se registra en Sonora (4,400 kWt), lo cual se debe al proyecto para la industria minera Peñoles.



**ILUSTRACIÓN 26: Distribución geográfica de proyectos SHIP en México (total: 43 proyectos). Sonora, Estado de México y Jalisco cuentan con la mayor capacidad térmica instalada.**

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

**TABLA 12: Distribución de proyectos SHIP por estados, superficie y capacidad térmica instalada**

Estado	Numero de proyectos	Área de instalación bruta (m <sup>2</sup> )	Capacidad térmica instalada (kWt)
Jalisco	13	2,535	1,278
Ciudad de México	7	800	557
Estado de México	3	3,928	2,749
Durango	3	299	208
Morelos	2	885	619
Chiapas	2	875	581
Sinaloa	2	373	233
Baja California	2	478	225
Coahuila	2	206	144
Sonora	1	6,270	4,400
Michoacán	1	132	74
Oaxaca	1	327	137
San Luis Potosí	1	80	118
Zacatecas	1	120	84
Aguascalientes	1	99	42
Guanajuato	1	40	22
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>17,446</b>	<b>11,472</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

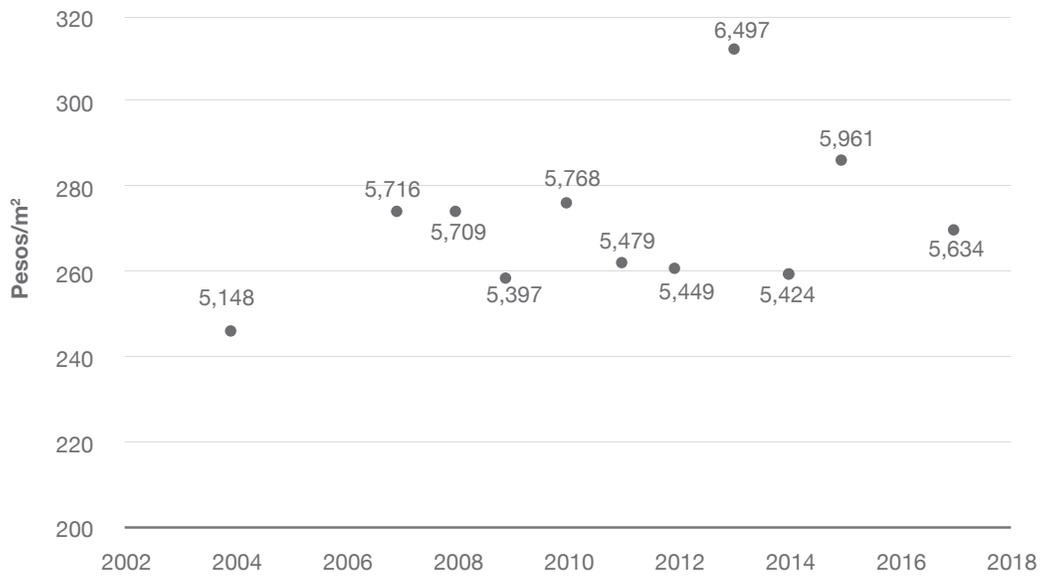
## Costos

El costo de los proyectos SHIP varía por tipo de tecnología termosolar utilizada. En 2016 el costo promedio de los proyectos con colectores de agua sin cubierta fue de 1,530 pesos/m<sup>2</sup> (73 euros/m<sup>2</sup>) mientras que el de los proyectos con colectores planos 5,633 pesos/m<sup>2</sup> (268.76 euros/m<sup>2</sup>) y el de los proyectos con colectores cilíndrico-parabólicos 6,761 pesos/m<sup>2</sup> (322.58 euros/m<sup>2</sup>)<sup>11</sup> (INTEC 2017).

Los colectores planos tienen aproximadamente una relación de 2 a 1 en metros cuadrados de instalación y potencia instalada con los colectores cilíndrico-parabólicos.

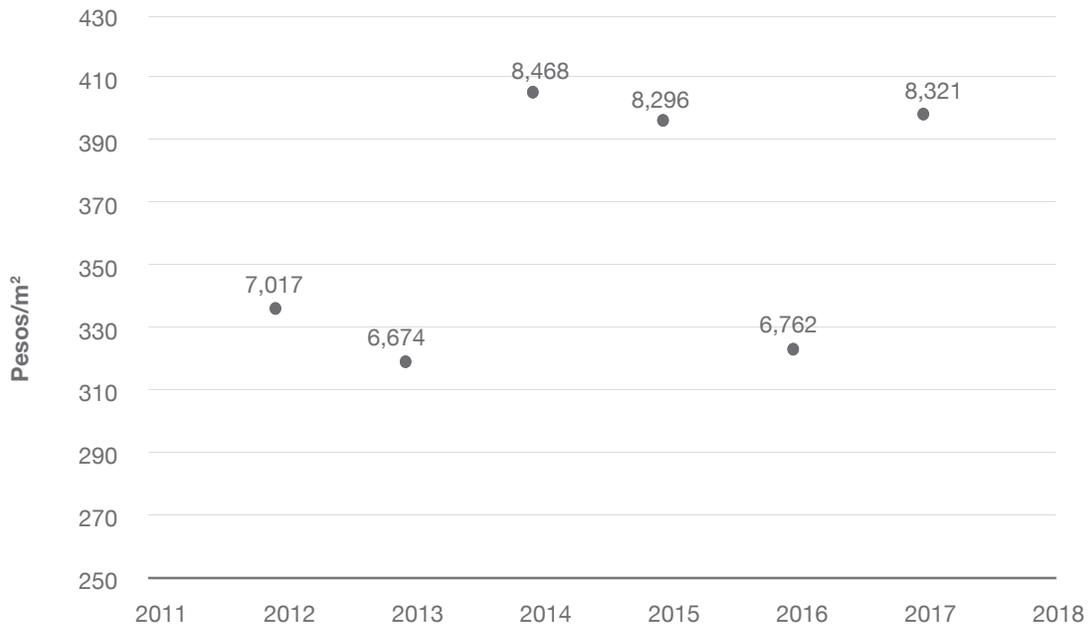
Con base en la información de la plataforma [www.SHIP-Plants.info](http://www.SHIP-Plants.info) se observa en la ilustración 27 y 28 la siguiente tendencia de costos para los proyectos SHIP en México.

<sup>11</sup> Tipo de cambio de 31 de julio de 2017 20.9596 pesos por euro.



**ILUSTRACIÓN 27: Tendencia de costos de los proyectos SHIP con colectores planos en México**

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)



**ILUSTRACIÓN 28: Tendencia de costos de los proyectos SHIP con colectores cilíndrico-parabólicos en México**

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)

## Conclusiones:

- La energía solar térmica tiene un amplio ámbito de aplicación que va más allá del sector vivienda y servicios. Las tecnologías termosolares existentes en el mercado son aptas para su aplicación en procesos industriales de baja y media temperatura hasta 400°C.
- Existe una base sólida de fabricantes nacionales de diferentes tecnologías termosolares para procesos industriales, así como casos de éxito de proyectos en diferentes Estados de la República y ramas del sector industrial que sientan el antecedente para implementar acciones que impulsen un mayor despliegue de esta tecnología.
- En la plataforma internacional [www.SHIP-Plants.info](http://www.SHIP-Plants.info) se registraron 43 proyectos (17,446 m<sup>2</sup> equivalentes a 11,472 kWt) hasta julio de 2017 en diferentes subsectores industriales en México. Por otra parte, la reciente encuesta realizada por Solar Payback indica que México encabezó la lista de países con el mayor número de instalaciones de calor solar de procesos en 2017 con 36 sistemas (6,411 m<sup>2</sup>). Sin embargo, no existe un registro oficial en México de este tipo de sistemas ni una cuantificación de su contribución en el mix energético.
- Las empresas mexicanas líderes en el mercado SHIP son Módulo Solar (fabricante de colectores planos) e Inventive Power (fabricante de colectores cilíndrico-parabólicos). No obstante, la empresa danesa Arcon Sunmark instaló el proyecto SHIP más grande registrado hasta el momento (4,400 kWt; 6,270 m<sup>2</sup>) en el país en el sector minero.
- La tecnología con la mayor participación en el mercado de calor solar de procesos es la de colectores planos, seguida de los colectores de agua sin cubierta y los colectores cilíndrico-parabólicos. La participación de mercado de colectores de tubos evacuados en este sector es mínima.
- 84% de las instalaciones SHIP se han realizado en el sector de alimentos y bebidas. Los rangos de temperatura oscilan entre los 20 y los 100%, con una fracción solar que ronda entre el 20 y 75%.

CAPÍTULO 3  
**DEMANDA DE CALOR EN LA  
INDUSTRIA EN MÉXICO**

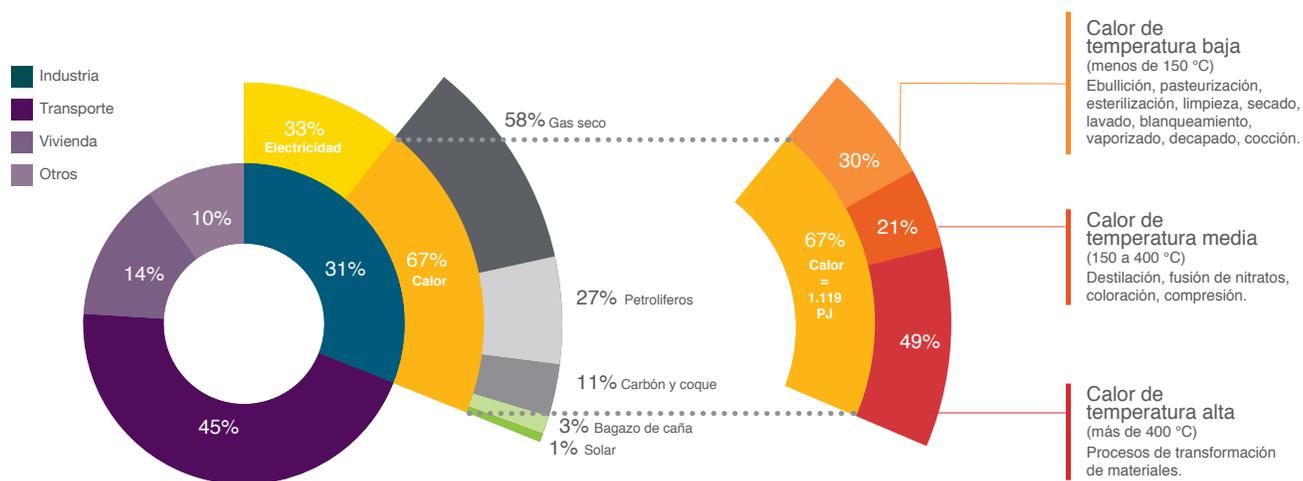


### 3.1 Descripción de industrias según el nivel de temperatura determinado

Como se describe en el capítulo 1, el sector industrial en México fue el segundo mayor consumidor de energía en 2016 (31%, 1,680.79 PJ) y en dicho sector la demanda de calor fue mayor a la demanda de electricidad (67%, 1,119.11 PJ y 33%, 561.68 PJ respectivamente). En el capítulo 2 se describen las tecnologías termosolares para generar calor en diferentes rangos de temperatura, así como la capacidad SHIP instalada y sus aplicaciones en México. El presente capítulo analiza la demanda de calor en los sectores industriales más relevantes de México para proyectos SHIP.

Para realizar el análisis de la demanda de calor en la industria, el presente estudio se basa en el documento "Assessment of the technical and economic potentials of biomass use for the production of steam, chemicals and polymers" del autor Deger Saygin en 2014, entonces analista de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). Dicho documento incluye una gráfica que muestra la demanda de calor en diferentes rangos de temperatura en sectores específicos de la industria a nivel global en el año 2008. Este enfoque se basó en la experiencia de un informe de la industria alemana del año 2005 y fue implementado en la base de datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA) (IEA, 2014).

Con base en dicho enfoque, el presente estudio toma en cuenta tres niveles de temperatura: baja (hasta 150°C), media (de 150 a 400°C) y alta (mayor a 400°C). Como se puede apreciar en la ilustración 29, el 51% del total de la demanda de calor en la industria mexicana corresponde al rango de temperatura bajo y medio (hasta 400°C).



**ILUSTRACIÓN 29: Consumo final de energía para calor en la industria en México en 2016 (total: 1,119 PJ = 67%) – 51% corresponde a temperaturas menores a 400°C**

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER y Saygin 2014

Para llegar a las cifras anteriormente mencionadas se aplicaron los porcentajes de consumo de calor en la industria para los tres rangos de temperatura definidos por Saygin y los datos del consumo energético por rama industrial del Balance Nacional de Energía de 2016 para México.

**TABLA 13: Demanda final de energía para calor en diferentes ramas industriales de México por rango de temperatura: baja (TB), media (TM) y alta (TA)**

Rama industrial en México	Consumo energético total (PJ)	Consumo de calor (PJ)	% TB < 150 °C	% TM 150 - 400°C	% TA > 400°C	Consumo TB (PJ)	Consumo TM (PJ)	Consumo TA (PJ)
Pemex petroquímica	66	62	23%	30%	48%	14	18	29
Fabricación vidrio y productos de vidrio	64	60	4%	4%	93%	2	2	55
Industria básica del hierro y el acero	243	222	4%	5%	91%	8	11	203
Fabricación de cemento	184	146	4%	4%	93%	5	5	136
Otras ramas	776	377	50%	33%	17%	189	123	66
Industria química	106	89	23%	30%	48%	20.3	26.2	42.2
Fabricación de fertilizantes	1	1	23%	30%	48%	0.1	0.2	0.3
Fabricación de productos de hule	11	9	23%	30%	48%	2.1	2.7	4.4
Fabricación de automóviles y camiones	17	8	82%	18%	0%	6.4	1.4	0.0
Construcción	14	12	50%	33%	17%	6.0	3.9	2.1
Minería	66	26	60%	40%	0%	15.5	10.3	0.0
Fabricación de pulpa, papel y cartón	59	47	59%	27%	14%	27.9	13.0	6.5
Elaboración de azúcares	38	34	60%	40%	0%	20.7	13.8	0.0
Elaboración de cerveza	23	19	60%	40%	0%	11.2	7.5	0.0
Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas	11	7	60%	40%	0%	4.4	2.9	0.0
Elaboración de productos de tabaco	1	0	60%	40%	0%	0.2	0.1	0.0
<b>Total</b>	<b>1,681</b>	<b>1,119</b>				<b>333</b>	<b>241</b>	<b>545</b>
Estructura de la demanda de calor por nivel de temperatura						30%	21%	49%

Fuente: Elaboración propia con datos de Saygin 2014 y SENER 2016

Los porcentajes de los niveles de temperatura baja, media y alta de la industria en México son similares a los de la industria a nivel global (ver tabla 14).

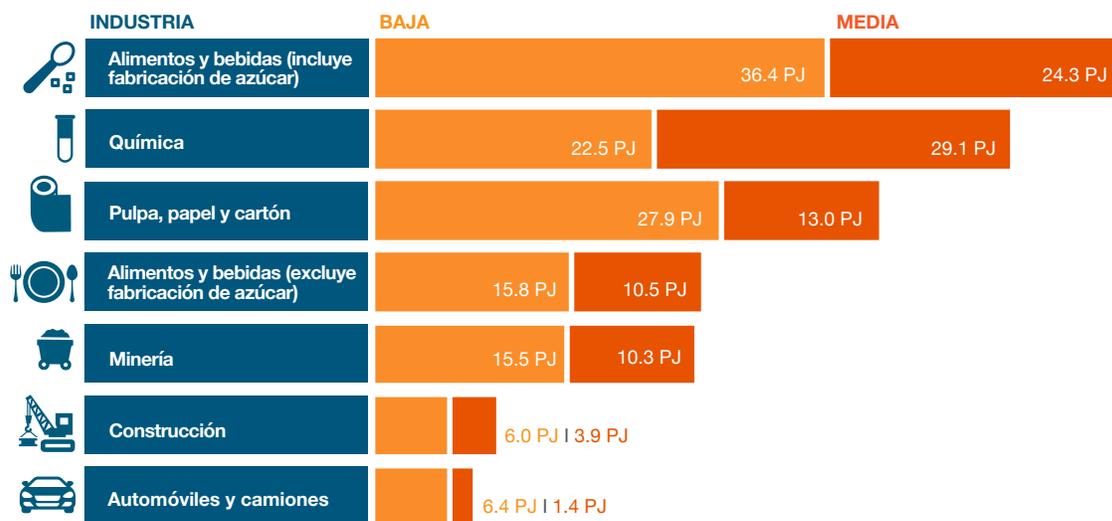
**TABLA 14: Porcentaje de la demanda de calor en la industria mundial y mexicana**

	Demanda de calor en la industria		
	Temperatura baja	Temperatura media	Temperatura alta
Global (IEA datos 2014)	30%	22%	48%
Mexico (SENER datos 2016)	30%	21%	49%

Fuente: Tabla 13 y Saygin 2014

Habiendo identificado la demanda de calor en la industria y sabiendo que las tecnologías termosolares existentes en el mercado pueden llegar a generar temperaturas de hasta 400°C, se excluyen del presente estudio la industria básica del hierro y el acero, la fabricación de cemento y productos a base de cemento en plantas integradas, la fabricación de vidrio y productos de vidrio y Pemex petroquímica básica ya que tienen procesos térmicos a niveles de temperatura mayores a los 400°C. Las industrias agrupadas en la categoría “otras industrias” no representan un porcentaje relevante en el consumo final de energía, pero de manera individual podrían ser interesantes para el uso de calor solar de procesos.

En la ilustración 30 se puede apreciar de una manera más clara la demanda de calor de baja y media temperatura (hasta 400°C), lo que las hace relevantes para el calor solar de proceso ya que las tecnologías termosolares disponibles en el mercado pueden llegar a generar dichas temperaturas. La industria de los alimentos y bebidas (incluyendo la fabricación de azúcar) es la que tiene el mayor consumo de energía de baja y media temperatura (60.7 PJ), seguida de la industria química (51.6 PJ) y la industria de pulpa, papel y cartón (40.9 PJ).



**ILUSTRACIÓN 30: Sectores industriales relevantes para SHIP y su demanda de calor**

Fuente: Elaboración propia con datos de Saygin 2014 y SENER 2016

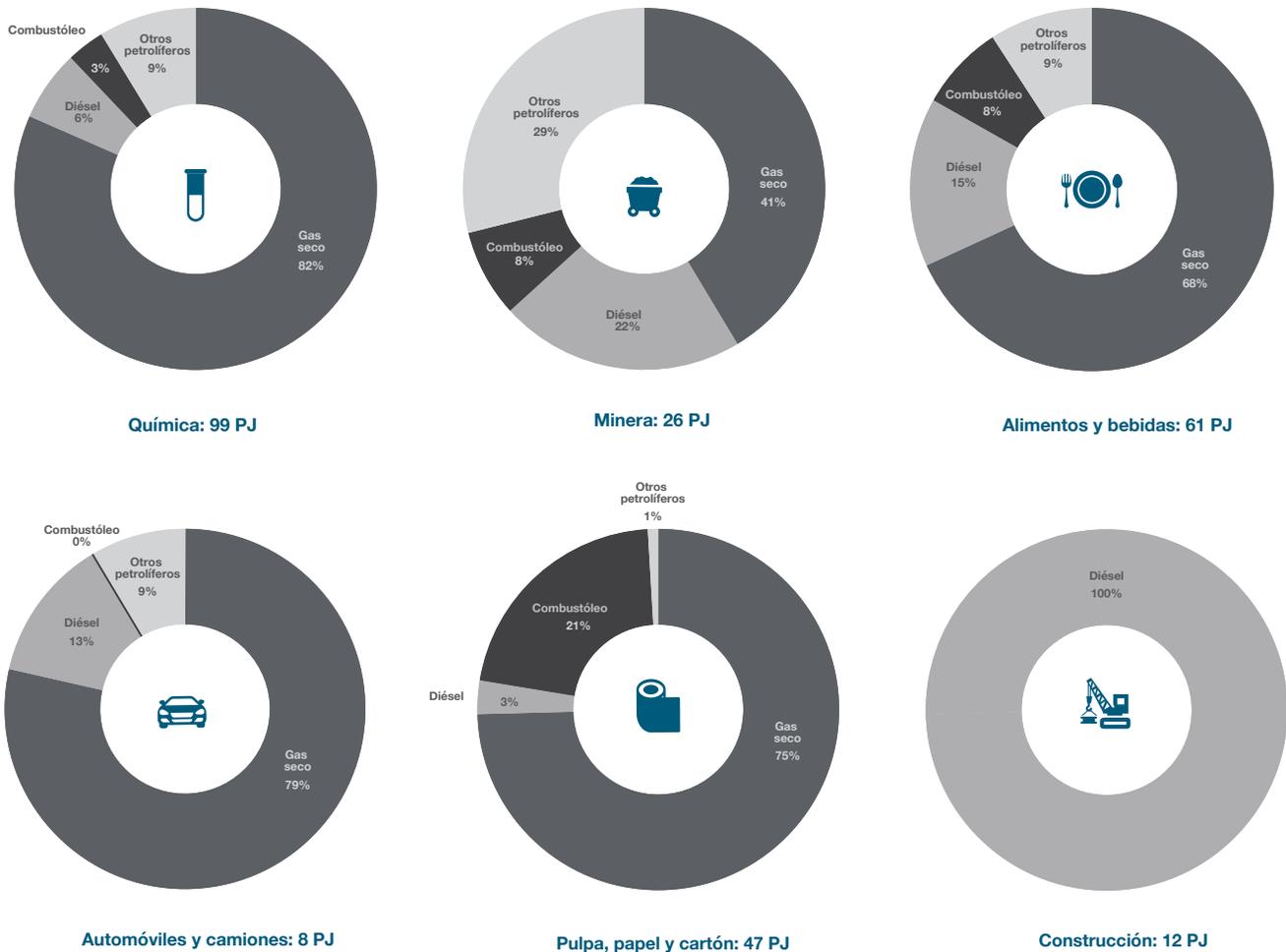
La mayoría de las aplicaciones en el sector industrial mexicano existentes hasta el momento han sido para procesos con niveles de temperatura de hasta 90°C, sin embargo existen tecnologías disponibles en el mercado nacional que pueden incursionar en procesos que utilicen calor solar de proceso para temperaturas de hasta 250°C, donde la industria en México tiene un gran potencial.

Las industrias con procesos más favorables para la utilización de calor solar son aquellas que tienen una demanda continua de calor durante el día, así como un proceso continuo y estable durante el año. Lo cual no significa que otras industrias con procesos intermitentes y necesidad de calor durante las horas de poca radiación solar no sean candidatas para aplicaciones de calor solar de proceso, ya que estas pueden utilizar alguna clase de almacenamiento térmico.

Algunos ejemplos de las industrias son aquellas que dentro de sus procesos incluyen calentamiento de líquidos para lavado, tratamientos químicos, generación de vapor de baja presión, y procesos de secado, entre otros.

## Fuentes de energía en los sectores relevantes para SHIP

En los sectores industriales identificados como relevantes para calor solar de procesos, dado que su demanda de calor se encuentra por debajo de los 400°C, el mix energético actual varía. La ilustración 31 indica la demanda de calor de cada sector en PJ, así como el porcentaje cubierto por cada combustible fósil. En general, se puede apreciar que la demanda de calor es cubierta en su totalidad por combustibles fósiles en todos los sectores, no obstante, el mix energético varía por tipo de industria. Con excepción de la industria de la construcción, el combustible dominante es el gas seco en todos los casos.



**ILUSTRACIÓN 31: Estructura del consumo energético para cubrir la demanda de calor por rama industrial**

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2016

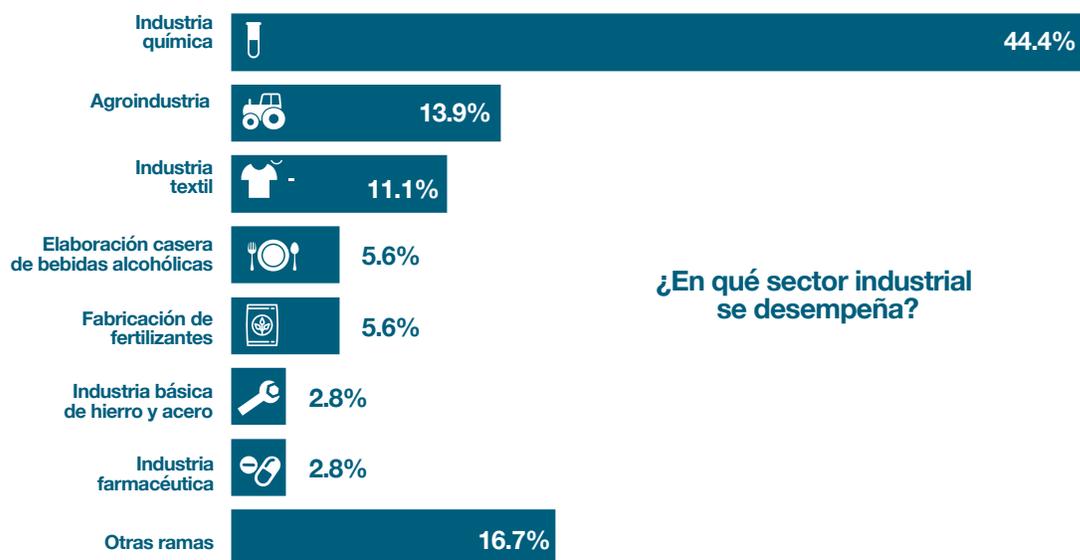
## Conclusiones:

- 51% del consumo de energía térmica (calor) en la industria mexicana es menor a 400°C. 30% corresponde a temperaturas menores a 150°C (temperatura baja) y 21% a temperaturas entre 150 y 400°C (temperatura media). Las tecnologías termosolares existentes en el mercado pueden abastecer dicha demanda.
- 6 ramas industriales son especialmente relevantes para aplicaciones de calor solar de procesos en México, ya que sus requerimientos son de baja temperatura (hasta 150°C) y media temperatura (hasta 400°C): alimentos y bebidas; química; pulpa, papel y cartón; automotriz; construcción y minería.
- La demanda de calor en las 6 ramas industriales relevantes para SHIP en México es cubierta prácticamente en su totalidad por combustibles fósiles, siendo el gas seco el principal combustible utilizado.

## 3.2 Resultados de la encuesta para la industria mexicana

En el periodo de abril a junio de 2017 se llevó a cabo una encuesta en línea en diferentes sectores industriales de México para obtener información de sus necesidades energéticas, demanda de calor y financiamiento, así como de los procesos internos de toma de decisiones de inversión, con la finalidad de medir el potencial de su necesidad térmica y energética, así como de evaluar la posible implementación de la tecnología SHIP.

En dicha encuesta participaron 36 empresas de diferentes sectores industriales. Cámaras industriales como ANIQ, CANIFAMA, CANAINTEX, CNIAA, CANIPEC, entre otras, ayudaron a distribuir la liga del cuestionario entre sus socios. Los resultados fueron los siguientes:



### ILUSTRACIÓN 32: Participación de varios sectores industriales

Fuente: Encuesta elaborada por el equipo de Solar Payback en México

El sector con mayor participación fue la industria química con un 44%. De las empresas encuestadas el 53% son empresas transnacionales, el 36% empresas nacionales y el 11% corresponde a empresas nacionales con parte transnacional.

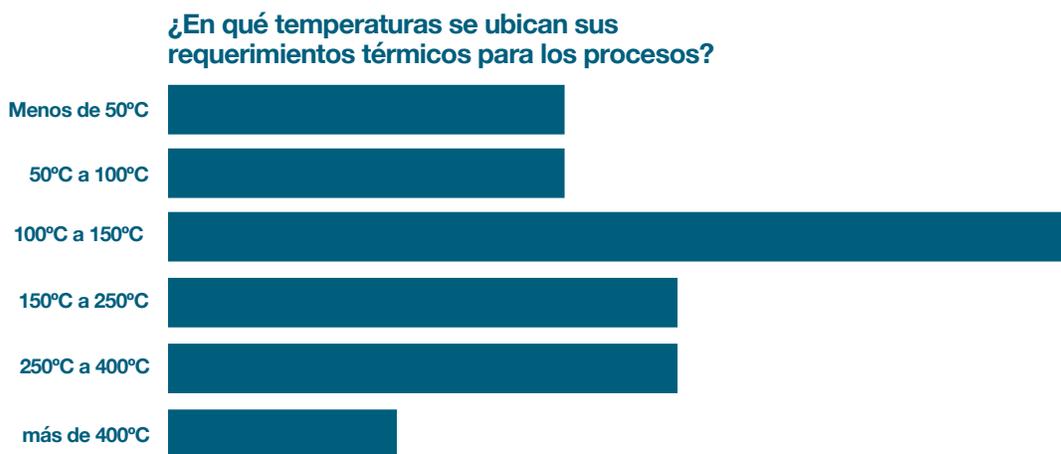
Alrededor del 64% fueron empresas grandes con un número mayor a 250 empleados y el 28% empresas medianas con un número de entre 51 y 250 empleados. Los estados de la República Mexicana donde estas empresas concentran sus procesos de producción son el Estado de México (31%), Nuevo León (28%) y Jalisco (19%).

### Datos energéticos de las empresas encuestadas

En esta encuesta se les preguntó a las empresas que dentro de sus costos totales de producción ¿Qué porcentaje corresponde a su consumo energético? Obteniendo como resultado que alrededor del 54% de las empresas consumen alrededor de un 25% y el 40% de las empresas gasta de entre un 25 al 50% en su consumo energético. La mayoría de plantas grandes con más de 250 empleados opera los 365 del año, mientras que las plantas medianas, tienen un comportamiento de operación de entre 16 y 24 días de operación mensuales, y el 50% de industrias encuestadas tienen una operación de más de 15 horas al día.

### Temperaturas requeridas para sus procesos

De las 36 empresas encuestadas, se obtuvo la siguiente información de requerimientos térmicos para su industria:



### ILUSTRACIÓN 33: Temperaturas requeridas para sus procesos

Fuente: Encuesta elaborada por el equipo de Solar Payback en México

Se observa que por sus requerimientos térmicos son grandes candidatas para la tecnología SHIP, poniendo un punto de oportunidad para aplicaciones de temperatura media (150°C – 400°C), en donde en México no ha tenido una implementación de tecnologías SHIP. La principal fuente energética que utilizan para la generación calor es el gas natural (75%) seguido por la electricidad (25%).

Declarando que el costo del gas natural oscila entre los 6 pesos/m<sup>3</sup> y los 2.62 pesos/m<sup>3</sup>, dependiendo de la región y época del año mientras que el costo de la electricidad es de 1.7 pesos/kWhr. De las industrias la que mayor consumo tuvo al año fue en el sector industria básica del hierro con un consumo anual de 38,313,440 kWh de electricidad y 27,672 GJoule (gas natural).

### **Grado de concientización para utilizar energías renovables**

De las empresas encuestadas el 50% declaró que ha considerado utilizar energías renovables para reducir sus costos energéticos con energía solar fotovoltaica, y el 25% ha considerado la energía termosolar, mientras que el 28% jamás ha pensado en utilizar fuentes renovables.

### **Necesidad de financiamiento**

10 de las 36 empresas indicaron que es totalmente independiente en la decisión de inversiones mientras que 15 lo son hasta cierto límite de inversión. El resto no respondió. Las empresas que eligieron "Hasta cierto límite", dieron diferentes respuestas o indicar el monto aproximado:

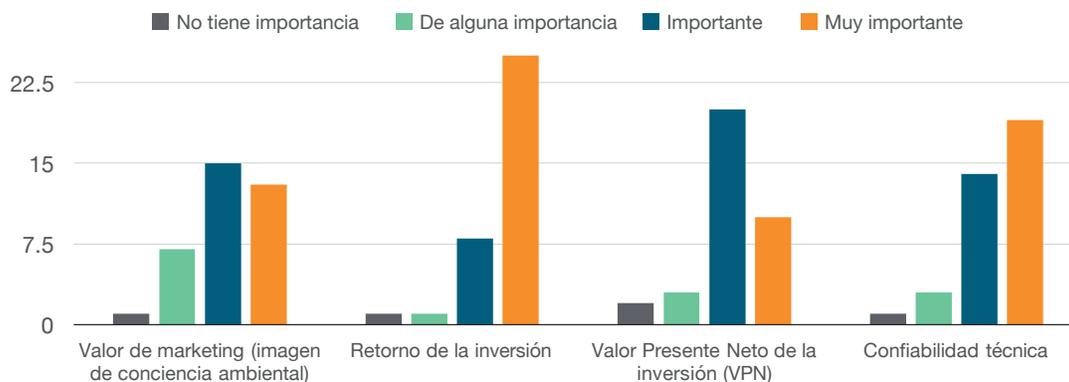
- Depende del presupuesto anual autorizado para inversiones CAPEX,
- A partir de 5,000 dólares se requiere aprobación regional, arriba de 250,000 dólares se requiere aprobación global
- Hasta 50,000 dólares, arriba de eso, tiene que venir una aprobación del corporativo
- Arriba de 100,000 dólares
- Arriba de 250,000 dólares
- Arriba de 500,000 dólares

9 empresas indicaron que el departamento técnico es totalmente independiente y el responsable autónomo en la toma de decisiones para inversiones relativas a cuestiones de energía. En el caso de 14 empresas, "hasta cierto límite de inversión" y el resto de las empresas desconocían la respuesta. Las empresas que contestaron "hasta cierto límite" dieron diferentes respuestas o indicar el monto aproximado:

- Depende del presupuesto anual autorizado para inversiones CAPEX
- A partir de 5,000 dólares se requiere aprobación regional, arriba de 250,000 dólares se requiere aprobación global
- Arriba de 50,000 dólares
- Arriba de 100,000 dólares
- Arriba de 500,000 dólares
- Arriba de 600,000 dólares

De acuerdo a la contabilidad de la empresa, los costos de energía se cubren en el 54.5% de los casos por centros de costos pertenecientes a los diferentes departamentos de producción y en 45.5% de los casos por un centro de costos genérico central (contabilidad centralizada).

En cuanto a los estímulos principales para invertir en acciones relativas a energía, la ilustración 34 muestra que el retorno de la inversión es el estímulo principal y considerado muy importante, seguido de la confiabilidad técnica, el valor de marketing y al final el valor presente neto de la inversión (VPN). El VPN sin embargo está considerado importante. Ninguno de los estímulos está considerado sin ninguna importancia casi.



### ILUSTRACIÓN 34: Estímulos principales para invertir en acciones relativas a energía

Fuente: Encuesta elaborada por el equipo de Solar Payback en México

48.3% de las empresas usan entre 75% a 100% de sus recursos propios para inversiones relativas a equipamiento. 6.9% de las empresas disponen de 50% a 74% de sus recursos propios y 8.6% de 25% a 49%. El resto indicó que invierte cero con recursos propios en equipos y tecnología nueva.

Para 47.2% el período de retorno de inversión considerado razonable en inversiones de energía es hasta 2 años, para 50% de las empresas hasta 5 años y para 2.8% hasta 10 años. Esto demuestra la aversión de las empresas aceptar un retorno de inversión a largo plazo.

62.9% de las empresas consideran que no es una opción la contratación de comprar calor (por ejemplo agua caliente, vapor de agua) directamente de un proveedor de energía. Para 31.4% de las empresas es una opción con un período de tiempo dispuesto a firmar un contrato de 5 años. Es resto indicó que sería una opción con un contrato hasta incluso 10 años.

### Conclusiones:

- Esta encuesta sirvió para comprobar que el sector industrial tiene un alto consumo energético en donde el mayor porcentaje es en la generación de calor para procesos industriales.
- Igualmente se constató que los requerimientos térmicos de las empresas encuestadas se encuentran en rangos de temperaturas baja y media (hasta 400°C).
- Así mismo la encuesta indica que los factores que influyen en el proceso de decisión sobre una inversión en un proyecto SHIP son el retorno de la inversión seguido de la confiabilidad técnica, el valor de marketing y el valor presente neto de la inversión (VPN).
- La encuesta también demostró que existe una muy baja tasa de implementación debido a la falta de difusión de las tecnologías renovables en específico de la tecnología SHIP.

CAPÍTULO 4  
**PLANEACIÓN Y DESARROLLO  
DE PROYECTOS SHIP**



## 4.1 Descripción del proceso de desarrollo de proyectos SHIP

El diseño de una planta SHIP es un proceso que inicia con el análisis preliminar para estimar la factibilidad del proyecto y culmina con la puesta en marcha del sistema. Los pasos clave del diseño y planeación de una planta SHIP se enlistan a continuación (fuente en la bibliografía IEA/SHC Task 49 “Solar Heat Integration in Industrial Processes”).

**Análisis preliminar** para identificar el potencial de una aplicación SHIP con base en información preliminar sobre el consumo de energía del consumidor final, la ubicación y los requerimientos térmicos. Este análisis ya debe evaluar el potencial existente para SHIP (los requerimientos térmicos o los costos de energía deben ser tales que la inversión sea viable).

**Análisis detallado** del suministro de calor y de los procesos que consumen calor, al igual que información sobre las condiciones de la locación, como son el espacio disponible a nivel de suelo o sobre los techos de la planta, acceso a la infraestructura general, así como a la red hidráulica y eléctrica, proximidad al punto de integración u operación, o a la operación y a las actividades de mantenimiento, etc.

**Simulación del rendimiento del sistema y modelo económico.** Con base en los resultados de la simulación, se pueden calcular los números del sistema solar de acuerdo al costo total de la inversión y los precios de los combustibles convencionales.

**Estudio de viabilidad técnica y económica** que identifique el diseño y las opciones de integración de un sistema solar, y que defina las condiciones técnicas y económicas para que la inversión sea viable.

**Ingeniería del sistema** y definición de los requisitos técnicos a ser tomados en cuenta en las fases de licitación y puesta en marcha.

**Licitación y puesta en marcha.** Para ello se deben garantizar tres aspectos:

1. una comparación objetiva entre las ofertas de diferentes proveedores;
2. la idoneidad del equipo y de los servicios a ser suministrados; y
3. la calidad de las instalaciones y la funcionalidad del sistema de acuerdo a la operación planeada.

**Operación y procesos de mantenimiento** a ser realizados, ya sea por un prestador de servicios externo o por una unidad de servicios interna de la planta.

Los aspectos clave del proceso de diseño y planeación de una planta SHIP son el análisis completo del sistema de suministro de calor actual así como el cálculo de la demanda efectiva de calor y la integración del sistema solar, mismos que se explican a continuación.

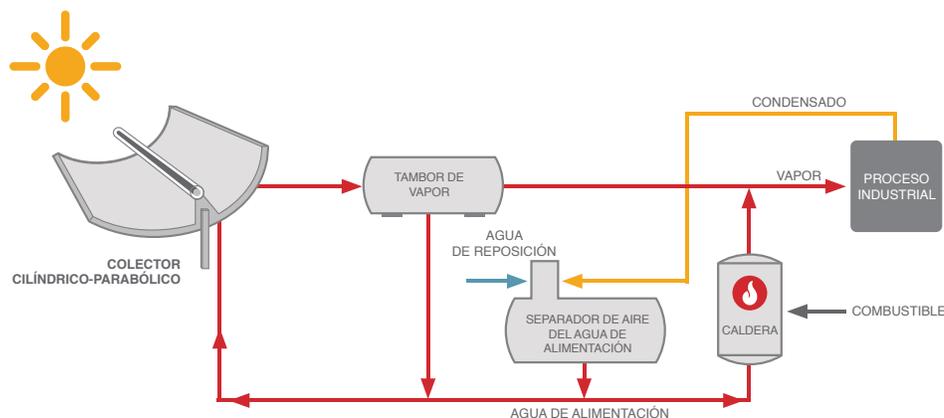
### Sistema actual de suministro de calor

Usualmente el suministro y distribución de calor se basa en calderas de vapor. Pero también puede estar basado en otros fluidos de transferencia térmica como agua caliente, aceite térmico o aire. También puede depender de sistemas combinados de calor y potencia o bombas de calor.

- Las **calderas de vapor** son los sistemas de suministro de calor más usuales en la industria. Alimentan diferentes procesos de manera directa o indirecta, a través de intercambiadores de calor con vapor. Los sistemas accionados por vapor se utilizan frecuentemente aún cuando

el proceso ocurre en bajos niveles de temperatura ( $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Tienen una mayor complejidad debido al tratamiento del agua preparada, recuperación de condensados, desgasificación (ver ilustración 35) y a los requerimientos de la operación. Los sistemas accionados por vapor tienen una alta densidad de energía que permite diámetros más pequeños y una menor pérdida de calor en la red de distribución de calor y tasas de transferencia de calor más altas por condensación que los resultantes de la entrega de calor a temperaturas constantes.

- El **agua caliente (presurizada)** es adecuada para bajos niveles de temperatura ( $< 100^{\circ}\text{C}$  -  $120^{\circ}\text{C}$ ). Se basa en calderas de agua caliente menos exigentes, pero requiere mayores diámetros de tubería y potencialmente presenta mayores pérdidas de calor en vista de mayores flujos de masa y menor densidad de energía.
- El **aceite térmico** es adecuado para niveles de temperatura de hasta  $350^{\circ}\text{C}$ . Se basa en calderas de aceite térmico y presenta como ventajas una temperatura de funcionamiento más alta que la que normalmente se utiliza en los sistemas impulsados por vapor y presiones más bajas. Los inconvenientes se relacionan con el mayor costo de los medios de transferencia de calor y la menor capacidad de calor en comparación con el agua, lo que requiere mayores flujos de masa, mayores diámetros de tubería y genera mayores pérdidas de calor. Los sistemas accionados por aceite térmico también presentan requisitos específicos del circuito hidráulico, relacionados con la seguridad (por ejemplo, prevención de fugas, flamabilidad/explosión, toxicidad) y operación (por ejemplo, protección del gas que previene la oxidación térmica del aceite, secado previo del circuito hidráulico antes del llenado).
- El **aire** tiene la menor capacidad térmica en comparación con el agua y el aceite térmico. Los sistemas accionados por aire únicamente se utilizan para el suministro directo en procesos específicos – el secado o en cámaras de curado térmico. El suministro de vapor se basa en quemadores de aire caliente, más que en calderas.
- Los **sistemas de calor y potencia combinados** (CHP por sus siglas en inglés) o sistemas de cogeneración con producción simultánea de electricidad y calor.
- Las **bombas de calor** pueden elevar la baja temperatura del calor residual a temperaturas de proceso más altas, aptas para ser utilizadas en el de proceso mediante ciclos de compresión del vapor (accionados por electricidad) o absorción (térmicamente activados). También se pueden utilizar resistencias eléctricas, aunque más bien se aplican en sistemas más pequeños.



**ILUSTRACIÓN 35: Esquema de una integración de calor solar para generar vapor**

Fuente: Solar Payback, 2017

En la generación directa de vapor mediante calor solar, el agua es parcialmente evaporada en un colector concentrador y luego es separada del resto del agua en un tambor de vapor. En la generación indirecta de vapor mediante calor solar, el campo solar calienta agua o aceite térmico en un circuito cerrado para generar vapor mediante un intercambiador de calor.

En cuanto a las fuentes de energía los sistemas de suministro de calor pueden basarse en el uso de combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, además de la electricidad. Debe mencionarse la diferencia en los tiempos de arranque de calentadores accionados con combustibles gaseosos/líquidos y combustibles sólidos, donde estos últimos requieren periodos más largos, lo que repercute en la duración de los periodos de espera. La tabla 15 presenta un resumen de las tecnologías de conversión de calor más comunes, de los fluidos de transferencia térmica, así como de las fuentes de energía.

TABLA 15: Tecnologías de conversión de calor vs. fluido de transferencia térmica y fuente de energía				
Fluido / Fuente de energía	Gaseoso (gas, biogas)	Líquido (gas LP, aceite)	Sólido (carbón, biomasa)	Electricidad
Vapor	Calderas, cogeneración calor y electricidad (CHP)			Resistencia eléctrica
Agua caliente	Calderas, cogeneración calor y electricidad (CHP)			Bomba de calor
Aceite térmico	Calderas, cogeneración calor y electricidad (CHP)			Bomba de calor
Aire caliente	Quemadores			Bomba de calor

Fuente: Overview of IEA SHC Task 49, 2015

### Demanda efectiva de calor

Para un diseño optimizado de un sistema solar es indispensable tener una visión actualizada del potencial de eficiencia energética y la estimación de la demanda efectiva de calor (tras la posible adopción de medidas de eficiencia energética que tomen en cuenta los perfiles de carga y las temperaturas de suministro de calor).

El dimensionamiento de un sistema termosolar debe estar basado en los requerimientos efectivos de calor, es decir, considerando primero los potenciales de recuperación del calor residual, tanto en el suministro de calor como a nivel de proceso. Frecuentemente es posible identificar oportunidades de recuperación de calor en la mayoría de las instalaciones industriales, ya sea debido a equipos ineficientes (esto es, por pérdidas térmicas superficiales o fugas de vapor) o mediante la identificación de flujos residuales que llevan calor que puede ser utilizado directamente en el proceso o en procesos vecinos (por ejemplo: emisiones de gas, limpieza in situ, flujos de material enfriados por vías naturales).

### Integración solar

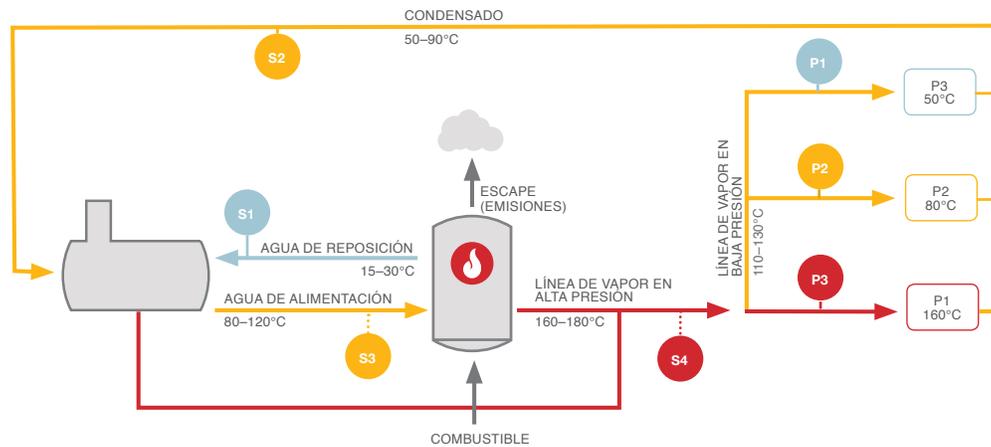
Una vez que los requerimientos efectivos de calor han sido analizados, es posible identificar tanto las demandas requeridas como la temperatura a las que tienen lugar los procesos. Este último es un parámetro de diseño primordial, ya que influye fuertemente en las tecnologías termosolares adecuadas a ser consideradas (ver ilustración 36). El uso de circuitos hidráulicos solares cerrados permite el uso de diferentes medios de transferencia de calor y evita la aparición de situaciones tales como incrustaciones o corrosión. Sin embargo, requiere del uso de un intercambiador de calor como interface en el punto de integración.

La integración del calor solar puede ocurrir en dos niveles:

- Nivel de suministro: el calor solar está integrado directa o indirectamente en algún punto del circuito de suministro de calor. La integración puede ocurrir después de un enfoque de precalentamiento, antes de la caldera (agua de reposición de precalentamiento, condensado

de agua de alimentación), o después de un concepto de generación de vapor directo o indirecto, con integración en la línea de vapor. Un enfoque de nivel de suministro generalmente significa temperaturas de integración más altas. La integración en el nivel de suministro presenta el potencial para fracciones solares más altas, pero a expensas de temperaturas de operación más altas y una menor eficiencia en el lado del campo solar, lo que podría requerir el uso de colectores solares de rastreo.

- A nivel de proceso: el calor solar se integra directamente en el proceso, ya sea a través de un intercambiador de calor o de manera directa. El calor se suministra a la temperatura del proceso, a menudo más baja que la temperatura del suministro de calor convencional. Mientras que la integración del nivel de proceso presenta el potencial para temperaturas de operación más bajas en el campo solar, enfrenta la resistencia por parte de los usuarios finales, a menudo reacios a las interacciones directas con sus procesos. La integración a nivel de proceso requiere de un conocimiento profundo de la temperatura del proceso y del perfil de carga.



S1, S2, S3 marcan tres posibles puntos de integración a diferentes procesos: P1 presenta una temperatura de proceso  $TP=160^{\circ}\text{C}$ , P2 con  $TP=80^{\circ}\text{C}$  y P3 con  $TP=50^{\circ}\text{C}$ .

### ILUSTRACIÓN 36: Posibles puntos de integración solar en un sistema convencional de suministro de calor

Fuente: Frahofer ISE

#### Conclusiones:

- El diseño y la planeación de una planta SHIP incluye el análisis preliminar del potencial, el análisis del suministro de calor y los procesos relacionados, la simulación del rendimiento del sistema, el estudio de viabilidad técnica y económica, la ingeniería del sistema, la licitación del suministro de los componentes, la puesta en marcha, así como la operación y el mantenimiento.
- Los aspectos clave son el análisis completo del sistema de suministro de calor actual, así como el cálculo de la demanda efectiva de calor y la integración del sistema solar.
- La identificación de la demanda de calor requerida y la temperatura a la que tienen los lugar los procesos son primordiales para un diseño adecuado de una planta SHIP.
- La integración de una planta SHIP puede realizarse directa o indirectamente en algún punto del circuito de suministro de calor, o bien directamente en el proceso.

CAPÍTULO 5  
**RENTABILIDAD DE PROYECTOS SHIP**



Como parte de las actividades del proyecto Solar Payback se desarrolló una herramienta de cálculo en abril de 2018, misma que fue presentada en los talleres financieros llevados a cabo hasta ahora en Brasil y México. La herramienta permite realizar una evaluación preliminar de si la inversión en un proyecto SHIP (suministro de calor solar de procesos) en un sitio específico es económicamente viable.

La herramienta proporciona valores predeterminados, tanto técnicos como económicos, para realizar los cálculos en alguno de los países objetivo de Solar Payback (México, Brasil, India y Sudáfrica) y con diferentes tecnologías termosolares. El usuario de la herramienta puede llevar a cabo evaluaciones económicas y financieras basadas en dichos valores predeterminados sin necesidad de ejecutar una simulación técnica del sistema SHIP en cuestión.

Algunos de los valores predeterminados de la herramienta se pueden sobrescribir para lograr resultados más precisos. Por lo tanto, el usuario debe contar con información preliminar para ingresar los parámetros de entrada más adecuados del modelo. Entre más información proporcione el usuario, más cercanos serán los resultados al escenario real.

## 5.1 Variables técnicas y financieras

El Instituto alemán Fraunhofer ISE realizó el cálculo del rendimiento solar anual usado en la herramienta con base en la información de 4.800 casos de estudio para los cuales se utilizó una fracción solar del 50% con el fin de hacerlos comparables entre sí.

El número de casos se calculó con los siguientes parámetros: cuatro países, cinco ubicaciones, cuatro tipos de colectores, cinco niveles de temperatura, tres perfiles diarios, dos perfiles semanales y dos perfiles mensuales.

### **5 ubicaciones (radiación solar): en el caso de México fueron los siguientes:**

- Ciudad de México (1.8 MWh/m<sup>2</sup>a)
- Chihuahua (2.0 MWh/m<sup>2</sup>a)
- Álamos (2.1 MWh/m<sup>2</sup>a)
- Matias Romero (1.8 MWh/m<sup>2</sup>a)
- Jalisco (2.0 MWh/m<sup>2</sup>a)

### **4 tipos de colectores:**

- plano
- de tubos evacuados
- cilíndrico-parabólico
- linear Fresnel

### **5 temperaturas promedio de operación del colector:**

- 50
- 75
- 100
- 150
- 200 °C

### **3 modos de operación diaria de la fábrica:**

- daytime
- night time
- continuous.

### **2 modos de operación semanal de la fábrica:**

- 5 days per week
- 7 days per week

### **2 modos de operación de la producción anual de la fábrica:**

- 1-month stoppage
- continuous.

Las variables financieras son específicas por tecnología, país y empresa.

## **5.2 Escenarios**

La herramienta calcula el precio del rendimiento térmico solar en MWh<sub>thermal</sub> así como el escenario de suministro de calor de referencia (convencional).

Tres escenarios financieros se calculan automáticamente, teniendo en cuenta la temperatura de operación, el tamaño y la complejidad del sistema, ya que éstos afectan al CAPEX:

- CAPEX (normal)
- CAPEX Plus: Caracterizado por pagos de deuda, CAPEX, LCOH más altos y mayor complejidad del sistema; así como menor equity y NPV en comparación con el caso normal.
- CAPEX Minus: Caracterizado por mayor equity y NPV; así como menor pago de deuda, CAPEX, LCOH, y una menor complejidad del sistema en comparación con el escenario normal.

Para cada escenario, la herramienta arroja información financiera y se pueden realizar cálculos hasta 25 años.

## **5.3 Indicadores clave de rendimiento (KPI) y gráficos**

La herramienta proporciona KPIs como la tasa interna de retorno del capital (C-IRR), la tasa interna de retorno del proyecto (P-IRR), los costos nivelados de calor (LCOH), el valor presente neto (NPV), la amortización descontada y el periodo de retorno simple (SPP), que se muestran gráficamente para los tres escenarios. También ofrece gráficos sobre los flujos de efectivo anuales a lo largo de la vida de las inversiones y una comparación de línea de base / costo de inversión que permite comparar diferentes soluciones técnicas y económicas.

La herramienta utiliza metodologías estáticas y dinámicas. El análisis económico estático compara solo el ahorro promedio anual con los costos correspondientes y no toma en cuenta el valor temporal del dinero. Mientras que los métodos dinámicos se basan en un flujo de efectivo descontado y representan el valor temporal del dinero.

Generalmente se prefiere recibir efectivo al día de hoy en lugar de un plazo a futuro, porque el dinero tiene mayor valor hoy que en algunos años. Es por eso que en las metodologías dinámicas los flujos de efectivo futuros se están convirtiendo a valores actuales (hoy) mediante una tasa de descuento o un factor de descuento.

Un método comúnmente utilizado para encontrar la tasa de descuento apropiada se llama Costo Promedio Ponderado de Capital o WACC. Con base en la estructura del financiamiento del proyecto, el WACC sirve como la tasa crítica, es decir, la tasa de rendimiento mínima aceptable para tomar una decisión de inversión.

Sin embargo, la herramienta tomó en cuenta el costo efectivo del capital o COC como la tasa de descuento que es la tasa de rendimiento de todos los flujos de efectivo necesarios para cumplir los requisitos de capital de la deuda y el patrimonio, incluidos los pagos de intereses, reembolsos y honorarios, y representa un cambio en la relación deuda / capital, llamado apalancamiento, durante el tiempo de vida del proyecto.

Los COC difieren de WACC ya que los últimos solo contabilizarán los pagos de intereses y asumen un apalancamiento constante. El COC regularmente excederá a WACC y el descuento con WACC sobreestimaré el valor del proyecto y el margen del proyecto. La sobreestimación se puede compensar parcialmente usando COC para la valoración del proyecto y descontando los flujos de efectivo del proyecto.

Cuanto más largo es el período de inversión, más difieren los resultados de los métodos de cálculo dinámico y estático. Como la inversión para sistemas solares muestra una vida útil prolongada (en el rango de 20 años), es preferible aplicar el método de análisis económico dinámico, el cual toma en cuenta la importancia del momento en que se realizan los pagos.

Para realizar el análisis de un caso particular se pueden usar ambos tipos de KPI: el SPP basado en el análisis estático y la P-IRR basada en el método de flujo de efectivo descontado. Ambos KPIs describen la rentabilidad de la inversión, pero no consideran el tipo y los costos de la financiación.

### **Dichos KPIs se pueden definir de la siguiente manera:**

- Período de recuperación solar es el tiempo requerido para recuperar la inversión en un proyecto del ahorro anual. Típicamente, la administración en industrias espera un SPP de alrededor de 2 a 5 años (ver capítulo 3.2).
- El P-IRR representa la tasa de rendimiento que se espera que genere un proyecto de inversión. La inversión es rentable si el P-IRR es más grande que el WACC, lo que significa que el rendimiento esperado superó los costos de capital.

### **Conclusiones:**

- La herramienta de Solar Payback permite el cálculo de indicadores clave de rendimiento (KPI) basados en miles de cálculos de rendimiento solar para diferentes estudios de casos de SHIP y valores predeterminados predefinidos.
- El período de retorno simple de la inversión (SPP) y la tasa interna de rendimiento del proyecto (P-IRR) se utilizan para comparar la rentabilidad económica de diferentes tecnologías y variantes operacionales.
- La herramienta permite evaluar y comparar diferentes escenarios al sustituir diferentes tipos de combustibles.
- Es necesario un cambio de paradigma en la decisión de invertir en un proyecto SHIP para dar mayor importancia a los ahorros acumulados durante la vida útil de del proyecto (20 años) que a un periodo de retorno de inversión corto (por debajo de 5 años).

CAPÍTULO 6  
**RECOMENDACIONES**



Los factores que pueden inclinar a un actor industrial a implementar tecnología SHIP en sus instalaciones o hacerlo que desista de ello, fueron ampliamente analizados en el estudio „Fomento de la integración de energías renovables en la industria“ publicado por IEA-RETD en marzo de 2017 (IEA-RETD 2017). El siguiente apartado enumera las recomendaciones más relevantes de IEA-RETD para las condiciones del contexto mexicano relacionadas con SHIP.

1. **Financiamiento:** la gran parte del sector industrial con potencial para aplicaciones SHIP en México está conformada por pequeñas y medianas empresas que carecen de capital propio o efectivo necesario para invertir en proyectos SHIP. Los proyectos SHIP requieren inversiones iniciales considerables en comparación con las unidades de generación de calor fósil y biomasa tradicionales. Dado lo anterior, se podrían implementar mecanismos de apoyo a la inversión, como líneas de crédito de bajo interés, que contribuyan a reducir los costos iniciales para las empresas del sector industrial. En este sentido también se podría vincular la tasa de interés al porcentaje de energía ahorrada a través del proyecto SHIP, misma que refleje montos considerables de ahorro respecto a los combustibles fósiles.
2. **Tiempos de amortización y retorno de la inversión:** los proyectos SHIP a menudo tienen tiempos de amortización más largos y un retorno de inversión más bajo que los negocios centrales de una empresa del sector industrial. Además de medidas como el 100% de deducibilidad de maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables que ya existe en México, el gobierno podría introducir otras medidas de apoyo como tarifas preferenciales para la compra de soluciones SHIP. Transferir la inversión a un proveedor de calor (ESCO) es otra manera de eliminar la barrera de los tiempos de amortización y retorno de la inversión. Por otra parte, también se pueden implementar diferentes medidas técnicas a nivel de planta para superar este problema:
  - Mejorar el rendimiento solar específico por tri-generación (por ejemplo, agua caliente, vapor de proceso y enfriamiento)
  - Mejorar las sinergias entre el proyecto SHIP y medidas de eficiencia energética

En el caso particular de México, la barrera más relevante y que impide una mayor implementación de la tecnología SHIP son los precios de los combustibles fósiles, en particular los del gas natural y gas L.P.

3. **Conciencia:** La comunicación sobre el dinámico desarrollo del mercado mundial SHIP, incluidas las mejores prácticas internacionales, es esencial eliminar el vacío entre el escaso conocimiento de calor solar de procesos y la implementación concreta de proyectos SHIP. El intercambio de información entre las entidades del sector público, las asociaciones de proveedores de tecnología y las asociaciones industriales acerca de la tecnología termosolar para SHIP, el apoyo técnico y financiero público existente, es clave para incrementar el nivel de concientización. La interacción de empresas del sector industrial y proveedores de tecnología SHIP en grupos, iniciativas y asociaciones interprofesionales para compartir conocimientos con sus contrapartes favorecerá el desarrollo del mercado SHIP. La plataforma de Calor Solar representa en México una gran oportunidad de incrementar el nivel de conciencia y generar sinergias entre los diferentes actores de mercado. Una participación constante, el seguimiento a las acciones planteadas y la puntual implementación de las mismas son indispensables para obtener un impacto positivo en el mercado a corto y mediano plazo.
4. **Confianza en la tecnología:** la madurez y confiabilidad de la tecnología SHIP está avalada por los varios cientos de sistemas instalados en todo el mundo. México es un líder en calor solar de procesos ya que el país es el que se instaló el mayor número de plantas SHIP en 2017 (Solar Thermal World 2018). Sin embargo la participación de mercado del calor solar

de procesos es aún mínima en comparación con el calentamiento solar de agua en el sector residencial y comercial. Para aumentar la confianza del sector industrial en la tecnología SHIP, es recomendable que las entidades públicas implementen programas de apoyo en sectores industriales con alto potencial y con escasos proyectos implementados, para desarrollar mejores prácticas y alentar a los empresarios a invertir en esta tecnología, así como a los fabricantes de colectores y proveedores de tecnología SHIP a proporcionar soluciones integradas de calor solar de procesos.

5. **Operación e integración:** un proyecto de SHIP debe aportar una mayor productividad o una operación más sencilla (en términos de suministro) al industrial. La integración adecuada de los activos de calor solar industrial en una planta industrial requiere un conocimiento profundo de las tecnologías termosolares, los procesos industriales y las normas industriales, ambientales, de salud y seguridad. La creación de „equipos de excelencia“ a nivel local y el desarrollo de guías y estándares para el diseño y planeación e integración del calor solar en procesos industriales pueden ayudar impulsar inversiones SHIP en sectores industriales clave.
6. **Mecanismos de mitigación de riesgos y seguros:** las empresas industriales que evalúen invertir en un proyecto SHIP, deberán evaluar tres riesgos importantes que, en muchos casos, podrían incluso desalentar la inversión:
  - La continuidad del suministro de energía puede ponerse en duda ya que suele haber escepticismo respecto a la confiabilidad de los proyectos SHIP debido a la falta de difusión de casos de éxito y mejores prácticas.
  - La complejidad contractual específica de los acuerdos de compra de calor puede evitar que los industriales consideren su inversión.
  - La solvencia del proveedor de tecnología puede ser otro factor de riesgo, ya que de ello depende también la rentabilidad del proyecto SHIP.

El gobierno, a través de políticas públicas, y el sector financiero deberían ofrecer garantías financieras para proyectos SHIP, ya sea para cubrir el riesgo de tener un rendimiento de la planta menor al estimado o para prevenir problemas financieros por parte del proveedor de tecnología. Por otra parte, los proyectos de energía renovable también pueden convertirse en un factor de reducción del riesgo debido a la seguridad del recurso solar y a una menor exposición a las fluctuaciones del precio de los combustibles fósiles.

# ANEXOS

## 1. Lista de ilustraciones

<b>Ilustración 1:</b>	Participación de los sectores económicos en el PIB de 2016	7
<b>Ilustración 2:</b>	Actividad industrial por entidad federativa: variación porcentual acumulada de las industrias manufactureras, enero-octubre 2017 / enero octubre 2016	8
<b>Ilustración 3:</b>	Consumo final de energía en México por sector (PJ) de 2006 a 2016.	9
<b>Ilustración 4:</b>	Consumo final de energía en México en el año 2016 (total: 5,479.26 PJ)	9
<b>Ilustración 5:</b>	Escenario base de las emisiones GEI por energético fósil en los sectores de consumo final (MtCO <sub>2</sub> e)	11
<b>Ilustración 6:</b>	Consumo final de energía para calor y electricidad en el sector industrial en México 2006 – 2016 (PJ)	12
<b>Ilustración 7:</b>	Fuentes de energía para cubrir la demanda de calor en la industria en México (total: 1,119 PJ)	13
<b>Ilustración 8:</b>	Consumo de energía, principalmente fósil, para cubrir la demanda de calor en la industria de 2006 a 2016 (PJ).	13
<b>Ilustración 9:</b>	Demanda de combustibles fósiles en el sector industrial, 2016 – 2031 (mmpcdgne)	14
<b>Ilustración 10:</b>	Precios de combustibles (USD/MMBTU)	15
<b>Ilustración 11:</b>	Infraestructura de gasoductos en México 2015 – 2019	16
<b>Ilustración 12:</b>	Demanda de gas natural por sector, 2016 – 2031 (mmpcd)	17
<b>Ilustración 13:</b>	Demanda industrial por rama en 2016 y prospectiva para 2031	17
<b>Ilustración 14:</b>	Precios finales de gas natural a nivel nacional por sector (pesos por GJ a precios constantes de 2016)	18
<b>Ilustración 15:</b>	Irradiación horizontal global (GHI) en México	20
<b>Ilustración 16:</b>	Irradiación normal directa (DNI) en México	21
<b>Ilustración 17:</b>	Superficie nueva de colectores solares instalada anualmente en México, 2008 – 2017 (m <sup>2</sup> /año)	22
<b>Ilustración 18:</b>	Esquema de una planta SHIP	30
<b>Ilustración 19:</b>	Gráfica simplificada de un circuito de proceso térmico	30
<b>Ilustración 20:</b>	Rangos de temperatura, aplicaciones y tecnología	33
<b>Ilustración 21:</b>	Proyectos SHIP instalados en México anualmente	35
<b>Ilustración 22:</b>	Instalaciones SHIP en México por tipo de tecnología solar (total 11,472 kWt)	36
<b>Ilustración 23:</b>	Capacidad térmica instalada de los proyectos SHIP en México proveedor y tipo de tecnología (total 11,472 kWt)	36
<b>Ilustración 24:</b>	Proyectos SHIP instalados por tipo de industria (total: 43 proyectos)	37
<b>Ilustración 25:</b>	Número de proyectos SHIP por tipo de aplicación (total: 43 proyectos)	38
<b>Ilustración 26:</b>	Distribución geográfica de proyectos SHIP en México (total: 43 proyectos). Sonora, Estado de México y Jalisco cuentan con la mayor capacidad térmica instalada.	38
<b>Ilustración 27:</b>	Tendencia de costos de los proyectos SHIP con colectores planos en México	40

<b>Ilustración 28:</b>	Tendencia de costos de los proyectos SHIP con colectores cilíndrico-parabólicos en México	40
<b>Ilustración 29:</b>	Consumo final de energía para calor en la industria en México en 2016 (total: 1,119 PJ = 67%) – 51% corresponde a temperaturas menores a 400 °C	43
<b>Ilustración 30:</b>	Sectores industriales relevantes para SHIP y su demanda de calor	45
<b>Ilustración 31:</b>	Estructura del consumo energético para cubrir la demanda de calor por rama industrial	46
<b>Ilustración 32:</b>	Participación de varios sectores industriales	47
<b>Ilustración 33:</b>	Temperaturas requeridas para sus procesos	48
<b>Ilustración 34:</b>	Estímulos principales para invertir en acciones relativas a energía	50
<b>Ilustración 35:</b>	Esquema de una integración de calor solar para generar vapor.	53
<b>Ilustración 36:</b>	Posibles puntos de integración solar en un sistema convencional de suministro de calor	55

## 2. Lista de tablas

<b>Tabla 1:</b>	Pronósticos de indicadores económicos para 2018 y 2019	6
<b>Tabla 2:</b>	Pronósticos de crecimiento de emisiones de GEI hasta 2050	11
<b>Tabla 3:</b>	Evolución del consumo de combustibles en el sector industrial para calor, 2006-2016 (PJ)	14
<b>Tabla 4:</b>	Estimación de la utilización directa de calor geotérmico en aplicaciones de media y baja temperatura 2005	19
<b>Tabla 5:</b>	Legislación: Leyes nacionales que incentivan el uso de la energía solar térmica	24
<b>Tabla 6:</b>	Normas Mexicanas (NMX) para sistemas termosolares, principalmente para equipos de baja temperatura.	25
<b>Tabla 7:</b>	Estándares de competencia laboral aplicables en México	26
<b>Tabla 8:</b>	Programas de apoyo financiero para calentamiento solar de agua en México	27
<b>Tabla 9:</b>	Panorama de los tipos de colectores para la generación de calor solar de proceso	32
<b>Tabla 10:</b>	Las empresas más representativas ofertando soluciones térmicas solares para industria	34
<b>Tabla 11:</b>	Número de proyectos SHIP instalados por subsectores industriales	37
<b>Tabla 12:</b>	Distribución de proyectos SHIP por estados, superficie y capacidad térmica instalada	39
<b>Tabla 13:</b>	Demanda final de energía para calor en diferentes ramas industriales de México por rango de temperatura: baja (TB), media (TM ) y alta (TA)	44
<b>Tabla 14:</b>	Porcentaje de la demanda de calor en la industria mundial y mexicana.	44
<b>Tabla 15:</b>	Tecnologías de conversión de calor vs. fluido de transferencia térmica y fuente de energía	54

### 3. Lista de acrónimos

<b>Banxico</b>	Banco de México
<b>CAPEX</b>	Capital Expenditure (gastos de inversión en bienes de capital)
<b>CEMIE-Sol</b>	Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad
<b>C-IRR</b>	Capital Internal Return Rate (tasa interna de retorno del capital)
<b>COC</b>	Cost of Capital (costo efectivo de capital)
<b>CO<sub>2</sub>eq</b>	dióxido de carbono equivalente
<b>CONUEE</b>	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
<b>CRE</b>	Comisión Reguladora de Energía
<b>ESCO</b>	Energy Service Company (empresa de servicios de energía)
<b>FIDE</b>	Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica
<b>FIRA</b>	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>GW</b>	Gigavatio (unidad de potencia equivalente a mil millones de vatios)
<b>IEA</b>	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
<b>IMAIEF</b>	Indicador Mensual de la Actividad Industrial por Entidad Federativa
<b>IMSS</b>	Instituto Mexicano del Seguro Social
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía
<b>INFONAVIT</b>	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
<b>KPIs</b>	Key Performance Indicators (indicadores clave de rendimiento)
<b>kWh</b>	Kilovatio-hora (unidad de energía equivalente a 3,6•10 <sup>6</sup> julios)
<b>LCOH</b>	Levelized Costs of Heat (costo nivelado de calor)
<b>MMBTU</b>	Millones de unidades térmicas Británicas
<b>mpcdgne</b>	Millones de pies cúbicos diarios de gas natural equivalente
<b>MPyMES</b>	Micro, Pequeñas y Medianas Empresas
<b>MW</b>	Megavatio
<b>Mt</b>	Megatonelada
<b>NAFIN</b>	Nacional Financiera
<b>NPV</b>	Net Present Value (valor presente neto)
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>P-IRR</b>	Project Internal Return Rate (tasa interna de retorno del proyecto)
<b>PJ</b>	Petajulio (unidad de energía equivalente a 10 <sup>15</sup> julios)
<b>PROCAL SOL</b>	Programa de Calentadores Solares de Agua
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
<b>SENER</b>	Secretaría de Energía
<b>SHIP</b>	Solar Heat for Industrial Processes (salor solar para procesos industriales)
<b>SISTRAGAS</b>	Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural
<b>SPP</b>	Simple Payback Period (periodo de retorno simple de inversión)
<b>TLCAN</b>	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México
<b>WACC</b>	Weighted Average Cost of Capital (costo promedio ponderado de capital)

## 4. Referencias

**ANES 2018.** Datos proporcionados por Angélica Quiñones de la Asociación Nacional de Energía Solar.

**Banco Mundial 2017.** Solar resource data: Solargis <https://solargis.info/imaps/#c=16.366023,20.500455>

**Banxico 2018a.** Banco de México. Informe trimestral, octubre – diciembre 2017 <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/informes-periodicos/trimestral-inflacion/%7B4D1E07C2-5379-2BEA-8701-3AD0FAB6A2B3%7D.pdf>

**Banxico 2018b:** Banco de México. Encuesta sobre las expectativas de los especialistas en economía del sector privado, abril 2018. <http://www.banxico.org.mx/informacion-para-la-prensa/comunicados/resultados-de-encuestas/expectativas-de-los-especialistas/%7BE0BCC4E6-9FA6-CBDA-47F7-C4FF8C32C036%7D.pdf>

**Bioenergía 2011.** Red Mexicana de Bioenergía, A. C. La Bioenergía en México. Situación actual y perspectivas, 2011. <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>

**CNH 2018.** Comisión Nacional de Hidrocarburos [https://portal.cnih.cnh.gob.mx/iicnih2/?Ing=es\\_MX](https://portal.cnih.cnh.gob.mx/iicnih2/?Ing=es_MX)

**Forbes 2016:** Investor Insight: How Will Latin America's Economy Perform in 2016? <https://www.forbes.com/sites/nathanielparishflannery/2016/06/08/investor-insight-how-will-latin-americas-economy-perform-in-2016/2/#10c72ec3e6a5>

**García & Pilatowsky 2017.** Octavio García Valladares e Isaac Pilatowsky Figueroa, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. Primera edición. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables 2017. 160 páginas.

**GIZ 2015.** Lecciones aprendidas y mejores prácticas del proyecto 25,000 Techos Solares para México, GIZ, Mayo 2015.

**GTAI 2017:** Wirtschaftsdaten kompakt, junio 2017 <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsdaten-kompakt,t=wirtschaftsdaten-kompakt--mexiko,did=1688534.html>

**IEA 2014:** International Energy Agency: IEA/SHC Task 49 "Solar Heat Integration in Industrial Processes", 2012-2016. <http://task49.iea-shc.org/>

**IEA-RETD 2017:** Fostering Renewable Energy Integration in the Industry, <http://www.enea-consulting.com/en/fostering-renewable-energy-integration-in-the-industry/>

**IEA SHC Task 49** (International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme): <http://task49.iea-shc.org/publications>

**IEA SHC Task 49 2015:** Integration Guideline. February 2015, [http://task49.iea-shc.org/data/sites/1/publications/150218\\_IEA %20Task %2049\\_D\\_B2\\_Integration\\_Guideline-final1.pdf](http://task49.iea-shc.org/data/sites/1/publications/150218_IEA %20Task %2049_D_B2_Integration_Guideline-final1.pdf)

**IMAIEF 2018:** Actividad industrial por Entidad Federativa <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/aief/default.aspx>

**INEGI 2017:** Datos sobre el Producto Interno Bruto, consultado el 19 de enero de 2017 <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibt/>

**INTEC 2017.** Solar Heat for Industrial Processes <http://ship-plants.info/>

**Jorge M. Islas S. Et al:** Hacia un sistema energético mexicano bajo en carbono, reflexio/ediciones. Ciudad de México, 2015.

**La Jornada 2018:** México, con la mayor inflación de energéticos en 2017: OCDE, 6 de febrero 2018 <http://www.jornada.com.mx/ultimas/2018/02/06/en-2017-mexico-registro-la-mayor-inflacion-de-energeticos-entre-los-paises-de-la-ocde-8048.html>

**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.

**Pontes 2016:** Daniela Pontes Hernández, Ponencias del IX Seminario sobre Situación y Perspectivas del Sector Eléctrico en México <http://docplayer.es/27214046-La-estrategia-en-el-sector-de-energias-limpias.html>

**Promexico 2018a:** ¿Por qué México? <http://www.promexico.mx/en/mx/por-que-mexico>

**Promexico 2018b:** La industria solar fotovoltaica y fototérmica de México. 2017 <http://www.promexico.mx/documentos/mapas-de-ruta/industria-solar.pdf>

**Santoyo-Gutierrez E. Y Torres-Alvarado I.** Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. ISSN: 1607-6079. Revista Digital Universitaria. 1 de octubre 2010, Vol. 11, No.10. <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art95/index.html>

**Saygin, D., Patel, M.K. and Gielen, D.J. 2010:** Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking: An Energy Policy Tool, Working Paper, November 2010. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Vienna

**Saygin 2014:** Saygin D., Gielen D.J., Draeck M., Worrell E., Patel M.K.,: Assessment of the technical and economic potentials of biomass use for the production of steam, chemicals and polymers, updated calculations by Deger Saygin based on IEA figures for the year 2014

**SEMARNAT & INECC 2015.** Inventario Nacional de Gases y Compuesto de Efecto Invernadero 2014 <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

**SENER 2015:** Prospectiva del sector eléctrico 2015 – 2029 [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva\\_del\\_Sector\\_Electrico.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_del_Sector_Electrico.pdf)

**SENER 2016:** Balance Nacional de Energía 2016 [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2016\\_\\_2\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf)

**SENER 2017a:** Prospectiva de Gas Natural 2017-2031. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284343/Prospectiva\\_de\\_Gas\\_Natural\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284343/Prospectiva_de_Gas_Natural_2017.pdf)

**SENER 2018.** Prontuario estadístico enero 2018 <https://www.gob.mx/sener/documentos/prontuario-estadistico-2018>

**SENER 2017b.** Plan quincenal de expansion del Sistema de transporte y almacenamiento nacional integrado de gas natural 2015 -2019. Segunda revision. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/206501/2a\\_Revisi\\_n\\_anual\\_Plan\\_Quinquenal\\_Sistrangas2015-2019\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/206501/2a_Revisi_n_anual_Plan_Quinquenal_Sistrangas2015-2019_.pdf)

**Solar Payback, 2017.** Calor Solar para la Industria, abril 2017. [https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/04/Calor-Solar-Para-La-Industria\\_Solar-Payback\\_April-2017.pdf](https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/04/Calor-Solar-Para-La-Industria_Solar-Payback_April-2017.pdf)

**Solar Thermal World, 2018.** Solar industrial heat market - a 2017 survey <http://www.solarthermalworld.org/content/solar-industrial-heat-market-2017-survey>

**Solrico 2018:** Datos proporcionados por Bärbel Epp de la agencia Solrico

## 5. Casos de éxito en México

### Sistemas solares térmicos en aplicaciones industriales instalados en México reportados con base en datos IEA (SHIP plants)

Proveedor	Subsector	Año	Estado	Tecnología (tipo de colector)	Rango de temperatura para proceso (°C)	Rango de temperatura sistema solar (°C)	Área de captación bruta (m²)	Área de captación apertura (m²)	Capacidad térmica (kWt)	Inversión (Euros)
Módulo Solar	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	2004	CDMX	Colector plano	70/85	60/90	64	57	44	14,000
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2006	Coahuila	Colector de tubos evacuados	65/80	55/90	96	75	67	43,000
Módulo Solar	Fabricación de productos lácteos	2006	Durango	Colector de tubos evacuados	60/70	50/80	68	55	47	27,000
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2007	CDMX	Colector plano	60/80	55/85	232	220	162	60,000
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2008	CDMX	Colector plano	60/70	55/75	164	145	114	39,500
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2009	Durango	Colector de tubos evacuados	65/80	55/85	99	80	69	39,000
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2009	CDMX	Colector plano	60/70	50/75	64	57	45	14,500
Módulo Solar	Elaboración de bebidas	2009	Edo. Méx.	Colector plano	60/70	50/75	56	50	39	12,500
Módulo Solar	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2009	CDMX	Colector plano	55/75	50/80	154	138	107	37,000
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2009	Edo. Méx.	Colector de agua sin cubierta	37	40/45	3700	3560	2590	270,000
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2009	Sinaloa	Colector de tubos evacuados	70/80	60/90	195	155	136	75,000
Módulo Solar	Fabricación de harina y productos de panadería	2010	CDMX	Colector plano	55/85	50/90	72	65	50	19,000
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2010	Chiapas	Colector plano	90	65/85	650	620	455	160,000
Módulo Solar	Elaboración de productos alimenticios	2011	Edo. Méx.	Colector plano	60/70	55/75	172	155	120	40,000
Módulo Solar	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2011	Morelos	Colector plano	70/80	50/85	360	340	252	90,000
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2012	Michoacán	Colector cilíndrico-parabólico	N.D.	20/95	132	132	74	44,200
Módulo Solar	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2012	Morelos	Colector plano	60/75	60/90	525	500	367	130,000
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2013	Durango	Colector cilíndrico-parabólico	N.D.	20/95	132	N.D.	92.4	40,000
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2013	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	N.D.	18.5/80-100	66	N.D.	46.2	23,039
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2013	Coahuila	Colector plano	65/75	60/80	110	100	77	31,000

Proveedor	Subsector	Año	Estado	Tecnología (tipo de colector)	Rango de temperatura para proceso (°C)	Rango de temperatura sistema solar (°C)	Área de captación bruta (m²)	Área de captación apertura (m²)	Capacidad térmica (kWt)	Inversión (Euros)
Inventive Power	Fabricación de productos farmacéuticos de base y preparación de fármacos	2014	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	55/75	N.D.	66	66	31.7	28,038
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Gto.	Colector cilíndrico-parabólico	N.D.	60/95	40	39.6	22.2	18,000
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	19/92	N.D.	132	132	62.7	32,677
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2014	Sinaloa	Colector cilíndrico-parabólico	N.D.	40/95	178.2	178.2	97.2	58,000
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Chiapas	Colector cilíndrico-parabólico	90	80/95	224.5	224.5	126	100,000
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2014	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	90	80/95	245	245	137	130,000
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2015	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	95	80/95	264	264	148	115,000
Módulo Solar	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2015	B. C.	Colector plano	65/70	65/85	65	60	45.5	16,800
Inventive Power	Elaboración de productos alimenticios	2015	S. L. P.	Colector cilíndrico-parabólico	25/80	N.D.	80	264	118	84,307
Inventive Power	Elaboración y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos	2015	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	20/70	N.D.	46.2	46.2	22.2	13,281
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2015	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	19/92	N.D.	197	197	94.5	46,144
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2015	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	19/99	N.D.	198	198	94.6	59,403
Módulo Solar	Fabricación de sustancias y productos químicos (lubricantes)	2015	CDMX	Colector plano	60/75	55/80	50	45	35	13,000
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2015	Ags.	Colector cilíndrico-parabólico	20/95	N.D.	99	99	42	28,046
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2015	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	85	70/95	430	430	240	160,000
Arcon-Sunmark	Mina de cobre	2016	Son.	Colector plano	N.D.	N.D.	6270	N.D.	4400	N. D.
Inventive Power	Fabricación de productos lácteos	2016	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	20/90	N.D.	132	132	59.9	36,894
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2017	B.C.	Colector cilíndrico-parabólico	20/60	N.D.	412.5	412.5	179.9	125,686
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2017	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	20/90	N.D.	33	33	15	24,131
Inventive Power	Fabricación de alimentos preparados para animales	2017	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	20/94	N.D.	462	462	202.5	118,414
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2017	Oaxaca	Colector cilíndrico-parabólico	21/90	N.D.	326.7	326.7	136.8	109,007
Inventive Power	Elaboración de bebidas	2017	Jalisco	Colector cilíndrico-parabólico	30/90	N.D.	264	264	123.6	94,736
Módulo Solar	Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas	2017	Zacatecas	Colector de aire	55/120	55/130	120	110	84	24,000
<b>TOTAL</b>							<b>17,446.1</b>	<b>10,732.7</b>	<b>11,471.9</b>	<b>2,644,303.00</b>

Fuente: <http://ship-plants.info/?country=Mexico>, 7 de julio, 2017

## 6. Costos de gas LP por regiones del país

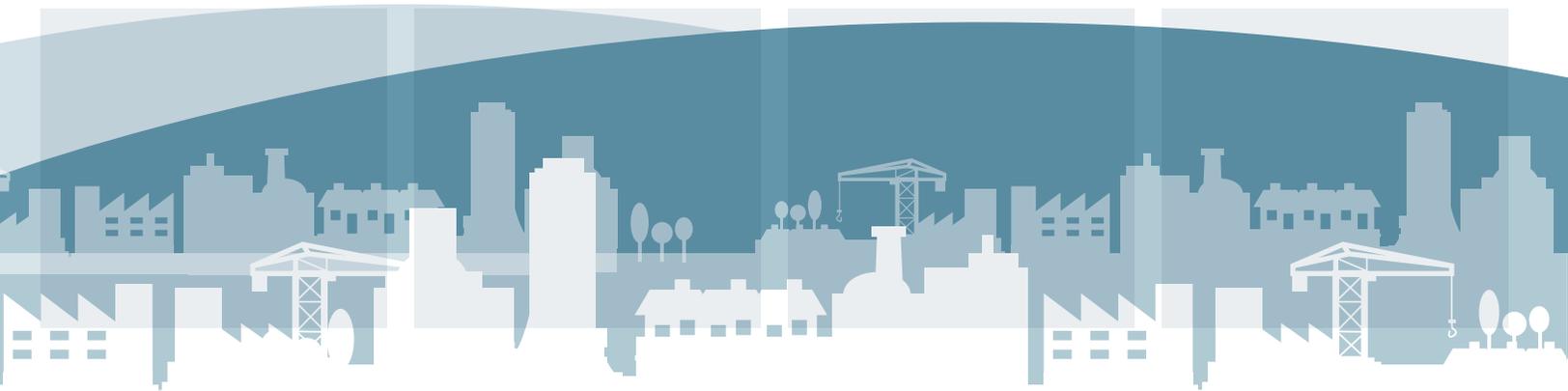
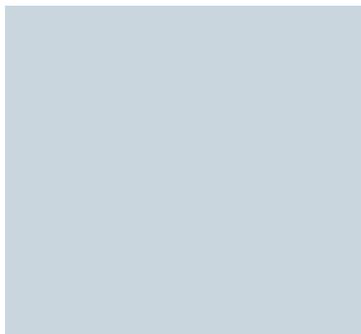
### Precio Gas LP por estado en Diciembre 2016

Región	Estados que participan parcial o total	IVA	Pesos por Kilogramo	10 Kgs	20 Kgs	30 Kgs	45 Kgs
1	Baja California	16%	12.93	129.30	258.60	387.90	581.85
2	Baja California	16%	13.07	130.70	261.40	392.10	588.15
3	Baja California	16%	12.93	129.30	258.60	387.90	581.85
4	Sonora	16%	13.69	136.90	273.80	410.70	616.05
5	Sonora	16%	13.08	130.80	261.60	392.40	588.60
6	Baja California	16%	13.14	131.40	262.80	394.20	591.30
7	Baja California S	16%	14.45	144.50	289.00	433.50	650.25
8	Baja California S	16%	13.95	139.50	279.00	418.50	627.75
9	Baja California S	16%	14.90	149.00	298.00	447.00	670.50
10	Baja California S	16%	14.46	144.60	289.20	433.80	650.70
11	Sonora	16%	13.52	135.20	270.40	405.60	608.40
12	Sonora	16%	13.64	136.40	272.80	409.20	613.80
13	Sonora	16%	13.57	135.70	271.40	407.10	610.65
14	Sonora	16%	13.81	138.10	276.20	414.30	621.45
15	Sonora	16%	14.01	140.10	280.20	420.30	630.45
16	Sinaloa	16%	13.22	132.20	264.40	396.60	594.90
17	Sinaloa	16%	13.37	133.70	267.40	401.10	601.65
18	Sinaloa	16%	13.59	135.90	271.80	407.70	611.55
19	Nayarit	16%	13.75	137.50	275.00	412.50	618.75
19	Sinaloa	16%	13.75	137.50	275.00	412.50	618.75
20	Sinaloa	16%	13.71	137.10	274.20	411.30	616.95
21	Chihuahua	16%	12.98	129.80	259.60	389.40	584.10
22	Chihuahua	16%	13.28	132.80	265.60	398.40	597.60
23	Chihuahua	16%	13.29	132.90	265.80	398.70	598.05
24	Chihuahua	16%	13.56	135.60	271.20	406.80	610.20
25	Chihuahua	16%	13.48	134.80	269.60	404.40	606.60
26	Chihuahua	16%	13.73	137.30	274.60	411.90	617.85
27	Chihuahua	16%	13.71	137.10	274.20	411.30	616.95
28	Chihuahua	16%	14.05	140.50	281.00	421.50	632.25
29	Chihuahua	16%	13.66	136.60	273.20	409.80	614.70
30	Chihuahua	16%	13.62	136.20	272.40	408.60	612.90
31	Chihuahua	16%	13.55	135.50	271.00	406.50	609.75
32	Tamaulipas	16%	12.99	129.90	259.80	389.70	584.55
33	Tamaulipas	16%	12.97	129.70	259.40	389.10	583.65
34	Coahuila	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
35	Coahuila	16%	13.26	132.60	265.20	397.80	596.70
36	Nuevo León	16%	13.51	135.10	270.20	405.30	607.95
37	Nuevo León	16%	13.26	132.60	265.20	397.80	596.70
38	Nuevo León	16%	13.10	131.00	262.00	393.00	589.50
39	Coahuila	16%	13.07	130.70	261.40	392.10	588.15
40	Nuevo León	16%	13.22	132.20	264.40	396.60	594.90
40	Tamaulipas	16%	13.22	132.20	264.40	396.60	594.90
41	Coahuila	16%	13.17	131.70	263.40	395.10	592.65
42	Nuevo León	16%	13.08	130.80	261.60	392.40	588.60
43	Tamaulipas	16%	13.13	131.30	262.60	393.90	590.85
44	Tamaulipas	16%	12.91	129.10	258.20	387.30	580.95
45	Tamaulipas	16%	13.07	130.70	261.40	392.10	588.15
46	Nuevo León	16%	13.02	130.20	260.40	390.60	585.90
47	Coahuila	16%	13.73	137.30	274.60	411.90	617.85
47	Durango	16%	13.73	137.30	274.60	411.90	617.85
48	Durango	16%	14.31	143.10	286.20	429.30	643.95
49	Durango	16%	13.81	138.10	276.20	414.30	621.45
50	Durango	16%	13.99	139.90	279.80	419.70	629.55
51	Durango	16%	13.85	138.50	277.00	415.50	623.25
52	Durango	16%	13.99	139.90	279.80	419.70	629.55
53	Zacatecas	16%	13.70	137.00	274.00	411.00	616.50
54	San Luis Potosí	16%	13.46	134.60	269.20	403.80	605.70
55	Coahuila	16%	13.37	133.70	267.40	401.10	601.65
56	Jalisco	16%	13.31	133.10	266.20	399.30	598.95

Región	Estados que participan parcial o total	IVA	Pesos por Kilogramo	10 Kgs	20 Kgs	30 Kgs	45 Kgs
57	Zacatecas	16%	13.53	135.30	270.60	405.90	608.85
58	Zacatecas	16%	13.65	136.50	273.00	409.50	614.25
59	San Luis Potosí	16%	13.48	134.80	269.60	404.40	606.60
60	San Luis Potosí	16%	13.43	134.30	268.60	402.90	604.35
61	San Luis Potosí	16%	13.53	135.30	270.60	405.90	608.85
62	San Luis Potosí	16%	13.45	134.50	269.00	403.50	605.25
62	Tamaulipas	16%	13.45	134.50	269.00	403.50	605.25
63	Aguascalientes	16%	13.37	133.70	267.40	401.10	601.65
63	Zacatecas	16%	13.37	133.70	267.40	401.10	601.65
64	Jalisco	16%	13.22	132.20	264.40	396.60	594.90
65	Jalisco	16%	13.14	131.40	262.80	394.20	591.30
66	Jalisco	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
66	Michoacán	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
67	Guanajuato	16%	13.14	131.40	262.80	394.20	591.30
68	Guanajuato	16%	13.01	130.10	260.20	390.30	585.45
68	Michoacán	16%	13.01	130.10	260.20	390.30	585.45
69	Guanajuato	16%	13.14	131.40	262.80	394.20	591.30
69	Michoacán	16%	13.14	131.40	262.80	394.20	591.30
70	Guanajuato	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
71	Michoacán	16%	13.27	132.70	265.40	398.10	597.15
72	Guanajuato	16%	13.32	133.20	266.40	399.60	599.40
73	Guanajuato	16%	13.24	132.40	264.80	397.20	595.80
74	Estado de México	16%	13.29	132.90	265.80	398.70	598.05
74	Michoacán	16%	13.29	132.90	265.80	398.70	598.05
75	Michoacán	16%	13.40	134.00	268.00	402.00	603.00
76	Michoacán	16%	13.51	135.10	270.20	405.30	607.95
77	Querétaro	16%	13.16	131.60	263.20	394.80	592.20
78	Querétaro	16%	13.20	132.00	264.00	396.00	594.00
79	Colima	16%	13.20	132.00	264.00	396.00	594.00
79	Jalisco	16%	13.20	132.00	264.00	396.00	594.00
80	Guerrero	16%	13.68	136.80	273.60	410.40	615.60
80	Michoacán	16%	13.68	136.80	273.60	410.40	615.60
81	Michoacán	16%	13.53	135.30	270.60	405.90	608.85
82	Querétaro	16%	13.37	133.70	267.40	401.10	601.65
83	Jalisco	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
84	Jalisco	16%	13.10	131.00	262.00	393.00	589.50
85	Jalisco	16%	13.29	132.90	265.80	398.70	598.05
86	Jalisco	16%	13.33	133.30	266.60	399.90	599.85
86	Nayarit	16%	13.33	133.30	266.60	399.90	599.85
87	Jalisco	16%	13.14	131.40	262.80	394.20	591.30
88	Colima	16%	13.37	133.70	267.40	401.10	601.65
89	Jalisco	16%	13.46	134.60	269.20	403.80	605.70
90	Jalisco	16%	13.55	135.50	271.00	406.50	609.75
90	Nayarit	16%	13.55	135.50	271.00	406.50	609.75
91	Nayarit	16%	13.44	134.40	268.80	403.20	604.80
92	Ciudad de México	16%	13.08	130.80	261.60	392.40	588.60
92	Estado de México	16%	13.08	130.80	261.60	392.40	588.60
92	Hidalgo	16%	13.08	130.80	261.60	392.40	588.60
93	Estado de México	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
94	Estado de México	16%	13.07	130.70	261.40	392.10	588.15
94	Hidalgo	16%	13.07	130.70	261.40	392.10	588.15
95	Hidalgo	16%	13.20	132.00	264.00	396.00	594.00
96	Hidalgo	16%	13.10	131.00	262.00	393.00	589.50
96	Tlaxcala	16%	13.10	131.00	262.00	393.00	589.50
97	Veracruz	16%	13.05	130.50	261.00	391.50	587.25
98	Hidalgo	16%	13.29	132.90	265.80	398.70	598.05
99	Hidalgo	16%	13.16	131.60	263.20	394.80	592.20
100	Hidalgo	16%	12.94	129.40	258.80	388.20	582.30
101	Puebla	16%	13.01	130.10	260.20	390.30	585.45
101	Veracruz	16%	13.01	130.10	260.20	390.30	585.45
102	Puebla	16%	13.22	132.20	264.40	396.60	594.90
102	Veracruz	16%	13.22	132.20	264.40	396.60	594.90
103	Veracruz	16%	13.11	131.10	262.20	393.30	589.95
104	Tamaulipas	16%	13.11	131.10	262.20	393.30	589.95
105	Puebla	16%	12.92	129.20	258.40	387.60	581.40

Región	Estados que participan parcial o total	IVA	Pesos por Kilogramo	10 Kgs	20 Kgs	30 Kgs	45 Kgs
105	Tlaxcala	16%	12.92	129.20	258.40	387.60	581.40
106	Morelos	16%	13.11	131.10	262.20	393.30	589.95
106	Puebla	16%	13.11	131.10	262.20	393.30	589.95
107	Tlaxcala	16%	13.06	130.60	261.20	391.80	587.70
108	Tlaxcala	16%	13.01	130.10	260.20	390.30	585.45
109	Tlaxcala	16%	13.05	130.50	261.00	391.50	587.25
110	Puebla	16%	13.10	131.00	262.00	393.00	589.50
111	Veracruz	16%	13.14	131.40	262.80	394.20	591.30
112	Guerrero	16%	13.38	133.80	267.60	401.40	602.10
113	Guerrero	16%	13.53	135.30	270.60	405.90	608.85
114	Puebla	16%	13.16	131.60	263.20	394.80	592.20
115	Morelos	16%	13.28	132.80	265.60	398.40	597.60
116	Morelos	16%	13.24	132.40	264.80	397.20	595.80
117	Guerrero	16%	13.64	136.40	272.80	409.20	613.80
118	Guerrero	16%	13.57	135.70	271.40	407.10	610.65
119	Guerrero	16%	13.48	134.80	269.60	404.40	606.60
120	Guerrero	16%	13.46	134.60	269.20	403.80	605.70
121	Guerrero	16%	13.29	132.90	265.80	398.70	598.05
122	Oaxaca	16%	13.00	130.00	260.00	390.00	585.00
122	Veracruz	16%	13.00	130.00	260.00	390.00	585.00
123	Veracruz	16%	13.11	131.10	262.20	393.30	589.95
124	Veracruz	16%	13.01	130.10	260.20	390.30	585.45
125	Chiapas	16%	13.00	130.00	260.00	390.00	585.00
125	Tabasco	16%	13.00	130.00	260.00	390.00	585.00
126	Chiapas	16%	13.33	133.30	266.60	399.90	599.85
127	Campeche	16%	13.20	132.00	264.00	396.00	594.00
128	Campeche	16%	13.36	133.60	267.20	400.80	601.20
129	Campeche	16%	13.49	134.90	269.80	404.70	607.05
130	Chiapas	16%	13.30	133.00	266.00	399.00	598.50
131	Chiapas	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
131	Tabasco	16%	13.19	131.90	263.80	395.70	593.55
132	Chiapas	16%	13.46	134.60	269.20	403.80	605.70
133	Chiapas	16%	13.49	134.90	269.80	404.70	607.05
134	Oaxaca	16%	13.33	133.30	266.60	399.90	599.85
135	Oaxaca	16%	13.13	131.30	262.60	393.90	590.85
136	Oaxaca	16%	12.97	129.70	259.40	389.10	583.65
137	Oaxaca	16%	13.37	133.70	267.40	401.10	601.65
138	Quintana Roo	16%	13.76	137.60	275.20	412.80	619.20
139	Quintana Roo	16%	13.64	136.40	272.80	409.20	613.80
140	Yucatán	16%	13.64	136.40	272.80	409.20	613.80
141	Yucatán	16%	13.82	138.20	276.40	414.60	621.90
142	Yucatán	16%	13.92	139.20	278.40	417.60	626.40
143	Quintana Roo	16%	14.11	141.10	282.20	423.30	634.95
144	Quintana Roo	16%	14.01	140.10	280.20	420.30	630.45
145	Quintana Roo	16%	14.90	149.00	298.00	447.00	670.50





Fomentado por el:



Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento de la República Federal de Alemania



Deutsch-Mexikanische Industrie- und Handelskammer  
Cámara Mexicano-Alemana de Comercio e Industria | CAMEXA

