

An aerial photograph of Bogotá, Colombia, taken during sunset. The city is densely packed with buildings, and the sun is low on the horizon, creating a warm, orange glow over the entire scene. The sky is a mix of orange and yellow, with some clouds visible. The city's layout is visible, with a river winding through it and a bridge crossing it. The overall atmosphere is serene and picturesque.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en Aprovechamiento de Energía Solar Térmica para Usos Finales de Calentamiento y Enfriamiento

**Bogotá
Abril de 2018**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Proyecto: Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050



Informe elaborado para la Unidad de Planeación
Minero Energética - UPME
Bogotá Abril de 2018

PROYECTO IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y REQUISITOS MÍNIMOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN, ESTRUCTURACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN OBSERVATORIO DE ENERGÍA QUE RECOPILE Y ANALICE INFORMACIÓN QUE CONDUZCA A OPORTUNIDADES DE INNOVACIÓN PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS DEL PEN 2050

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Germán Arce Zapata – Ministro de Minas y Energía
Jorge Alberto Valencia Marín – Director Unidad de Planeación Minero Energética UPME
Carlos García - Subdirector de Demanda, Unidad de Planeación Minero Energética UPME

EQUIPO DE TRABAJO DEL PROYECTO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Grupo de Investigación en el sector energético colombiano GRISEC
Modelamiento Y Análisis Energía Ambiente Economía
InTIColombia.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA
Instituto de Prospectiva de la Universidad del Valle

CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS
Director de proyecto: Omar Prias, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

EQUIPO DE TRABAJO PARA EL DESARROLLO DE EJERCICIOS DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano GRISEC,
Unversidad Nacional de Colombia

Director: Omar Prias
Asesora Metdológica: Jenny Marcela Sánchez Torres
Coordinación: David Bernardo Rojas Rodríguez
Vigías Tecnológicos: Jair Armando Castañeda Rodríguez, Laura Milena Cruz Moreno, Luis Rafael de la Rosa Ramos Ramos, Sergio Andrés Rodríguez Blanco, Oscar Darío Zambrano.
Apoyo: Laura Marcela Quiroga Calderón

Contenido

Índice de gráficos

Presentación

1. Resumen Ejecutivo

2. Energía Solar Térmica

3. Panorama mundial y tendencias

4. Conclusiones

5. Referencias bibliográficas

Anexos

Anexo 1. Anexo metodológico

Índice de Gráficos

Figura 1. Categorización de las tecnologías solar térmica

Figura 2. Tipos de colectores solares

Figura 3. Sistemas solar térmico calentamiento

Figura 4. Esquema colector canal parabólico

Figura 5. Esquema reflector lineal Fresnel

Figura 6. Esquema torre solar

Figura 7. Esquema reflector disco parabólico

Figura 8. Sistemas de refrigeración con energía solar térmica

Figura 9. Sistema de refrigeración solar por sorción

Figura 10. Sistema de refrigeración termo-mecánica

Figura 11. Comparación principales tecnologías de refrigeración solar térmica

Figura 12. Capacidad Global y crecimiento de Colectores Solares

Figura 13. Aplicaciones de sistemas térmicos solares

Figura 14. Usos de calentamiento térmico a diferente madurez tecnológica

Figura 15. Capacidad instalada sistemas de enfriamiento solar térmico



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en Revisión de Programas de Fomento a Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial

Presentación

Bogotá
Abril de 2018

Presentación

El Plan Energético Nacional 2050 (PEN 2050) se presentó en el 2015 como una base para la implementación de una política energética colombiana a largo plazo. Este documento realiza una revisión de los cambios técnicos, de negocios, aumento de la cobertura, garantía del suministro, diversificación de la canasta energética y aumento de la competitividad, como elementos modeladores del futuro energético del país. De igual manera, analiza la relación economía – energía en Colombia, estudia las perspectivas del mercado de los hidrocarburos y plantea un escenario energético a 2050 junto a cuatro escenarios alternativos.

Teniendo como foco esta planeación, en el marco del proyecto Universidad Nacional -UPME para la “Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050”, se estructuraron un conjunto de ejercicios de vigilancia tecnológica para identificar las tendencias actuales asociadas a las variables principales que modelan los escenarios energéticos del PEN a 2050.

El presente trabajo recoge los resultados del ejercicio de vigilancia tecnológica sobre el aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de calentamiento y enfriamiento. El ejercicio responde a las preguntas sobre las principales características de las tecnologías y sistemas que emplean la energía solar térmica para usos de calentamiento y refrigeración en diferentes sectores, así como el panorama global y las tendencias actuales en capacidades y aplicaciones de dicha tecnología.

Este aspecto es relevante para los escenarios energéticos planteados para Colombia en el PEN 2050, especialmente para el de eficiencia energética, en el cual se asume la inclusión de la energía solar y otras fuentes de energía renovables en algunos de los procesos de calentamiento residencial e industrial.

La metodología utilizada para el ejercicio consistió en la revisión de fuentes de información estructuradas y no estructuradas, consulta a expertos y análisis de información. La metodología se profundiza en los anexos al presente informe.

Mediante las conclusiones del ejercicio, se espera contar con elementos para facilitar el monitoreo sistemático de los aspectos más relevantes en la dinámica energética del país de cara al 2050. Lo anterior representa una de las funciones principales del Observatorio de Energía que se plantea desde el proyecto para facilitar la toma de decisiones en materia de política energética.

El presente informe se compone de un resumen ejecutivo en el que se presentan generalidades y los principales hallazgos del ejercicio de vigilancia tecnológica. La siguiente sección incluye información general sobre la energía solar térmica, su aplicación en los sistemas de calentamiento y refrigeración, las diferentes tecnologías y sus aplicaciones en los diferentes sectores de consumo. Las tendencias de estas tecnologías y el panorama mundial se encuentran en la parte final del informe, permitiendo dilucidar los aspectos relevantes y su aplicación a nivel de países. Finalmente se presentan las conclusiones que abarcan diferentes aspectos como la madurez tecnológica de la energía solar térmica y las oportunidades y barreras que se pueden presentar al momento de su aplicación.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en Revisión de Programas de Fomento a Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial

1. Resumen Ejecutivo



Bogotá
Abril de 2018

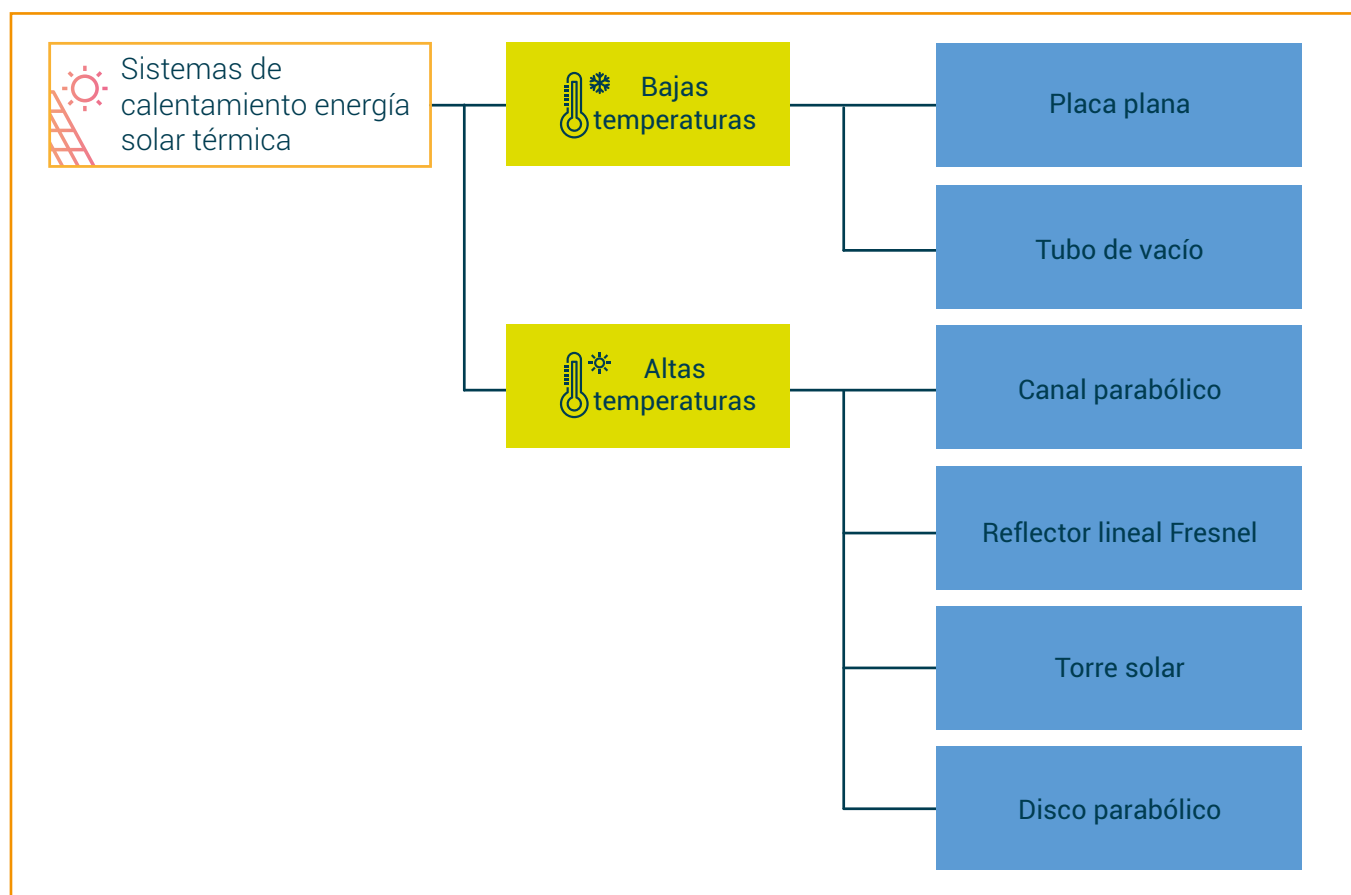
1. Resumen Ejecutivo

La transición energética mundial presenta numerosos desafíos en el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable y la reconfiguración de sus usos finales en los diferentes sectores de consumo.

En la actualidad la producción de calor demanda alrededor del 50% de la energía total mundial, jalonada principalmente por el sector industrial. Esto hace relevante el estudio de fuentes alternativas de energía para este uso final, ya que impactarían significativamente en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y en otros aspectos de importancia para el suministro energético global.

Los sistemas solares térmicos de calentamiento y refrigeración se presentan como una alternativa a los procesos tradicionales de este uso final de energía, aprovechando la radiación solar para la generación de energía térmica que puede ser usada, entre otros, para el calentamiento de agua residencial e industrial, generación de potencia, refrigeración y acondicionamiento de espacios. El informe estuvo dirigido a determinar cuáles son las principales características de las tecnologías de aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de enfriamiento y calentamiento. En respuesta a esta pregunta, en la Figura 1 se muestra la categorización de las distintas tecnologías disponibles para cada tipo de aplicación de acuerdo con las temperaturas requeridas en los distintos procesos.

Figura 1. Categorización de las tecnologías solar térmica [1][2]





Refrigeración por sorción

Absorción

Adsorción

Desecante

Refrigeración termo-mecánica

Ciclo Rankine

Stirling

Eyector

Híbridos

Adsorción-Desecante

Absorción-Eyector

Complementariamente, la Tabla 1 resume las principales características de los colectores solares térmicos, tecnología medular en ambos procesos, de acuerdo con el rango de temperatura que se desee alcanzar en el fluido de transferencia de calor. Cabe aclarar que tanto las aplicaciones de enfriamiento como las de calentamiento, requieren de concentración de la radiación solar para la producción de calor, antes de producir el efecto final deseado.

Tabla 1. Características colectores solares en el mercado [1]

Tipo de movimiento	Tipo de colector	Relación de concentración	Rango de temperatura (°C)
Estacionario	Placa plana	1	30-200
	Tubo de vacío	1	50-200
	Parabólico	1-5.	60-300
Seguimiento de un solo eje	Reflector Fresnel lineal	1-10.	60-250
	Reflector de canal parabólico	15-45	50-400
	Reflector de canal cilíndrico	10-50.	60-300
Seguimiento de doble eje	Reflector de disco parabólico	600-2000	100-1500
	Colector de heliostato o torre solar	300-1500	150-2000

Para el sector residencial el principal tipo de tecnología que se emplea, son los sistemas con colectores solares de placa plana y tubo de vacío, que a temperaturas bajas son capaces de sustentar la demanda de agua caliente en los hogares. Por su parte, los sistemas de chillers de absorción pueden proveer el acondicionamiento de aire frío requerido en diferentes espacios de edificaciones. En el sector productivo, las industrias alimenticias, de bebidas y mineras, junto a los sistemas de distritos térmicos han incrementado el uso de energía solar térmica en el desarrollo de sus procesos.

Las principales aplicaciones a nivel mundial de la tecnología solar térmica se concentran en la generación de agua caliente, acondicionamiento térmico de espacios, secado de productos, producción de vapor, calor o refrigeración al sector industrial.

Las estimaciones muestran que para el año 2050 las aplicaciones de calentamiento solar para el sector industrial serán cercanas al 5% del consumo mundial. Sin embargo, la aplicación de la tecnología se perfila más cercana al calentamiento de agua residencial o distritos térmicos de calentamiento.

Al igual que otras tecnologías de aprovechamiento de fuentes de energía renovables, los sistemas de calentamiento solar y enfriamiento solar térmico requieren de políticas y marcos normativos que incentiven su uso, para que la penetración a los mercados se haga de forma más rápida y eficiente, lo que en la actualidad no se identifica en el panorama mundial.

En el contexto colombiano podría ser de gran provecho la implementación de estos sistemas en regiones con alta radiación solar, cuyas demandas de frío sean altas, sobre todo durante las horas de mayor disponibilidad del recurso. Asimismo, se podría comenzar a incrementar las capacidades del país en esta materia en la industria de alimentos y de bebidas, en la cual se emplean en mayor

medida estos sistemas.

Finalmente, se identifican algunas oportunidades en I+D+i que pueden contribuir al desarrollo y uso de estos sistemas de energía, como lo son: el fortalecimiento de grupos y líneas de investigación sobre energía solar térmica, sobre todo en el acondicionamiento de espacios y aplicaciones industriales y la identificación de potenciales de la tecnología solar térmica para las condiciones del país.

En este mismo sentido, es importante llevar a cabo evaluaciones integrales sobre el uso de tecnología solar térmica para el calentamiento de agua residencial, en cambio de energéticos tradicionales como el gas natural y la electricidad, así como propiciar el desarrollo de diseño y construcción de tecnología solar térmica en el país para promover el mercado interno de estos sistemas y la industria nacional.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en Revisión de Programas de Fomento a Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial

2. Energía Solar Térmica



Bogotá
Abril de 2018

2. Energía Solar Térmica

En la presente sección se describen las principales tecnologías que aprovechan la energía solar en procesos de calentamiento o enfriamiento. Se presentan aspectos como su funcionamiento básico, diferencias fundamentales y las principales ventajas y desventajas, con el fin de conocer los mejores sistemas tecnológicos, de acuerdo con el uso que se requiera.

La energía solar térmica ha sido usada por siglos para la producción de calor, pero en los últimos treinta años ha ganado mayor popularidad y desarrollo comercial. Actualmente, se considera como una de las tecnologías más eficientes y de mayor confiabilidad, entre las disponibles en el mercado. Además, brinda un amplio número de aplicaciones para el sector residencial y comercial, en acondicionamiento de piscinas, calentamiento en procesos industriales, refrigeración y destilación [3].

A pesar de que algunas tecnologías existentes se encuentran en una etapa madura para proveer agua caliente y calentamiento de espacios usando la energía solar, en la mayoría de países aún no existe reglamentación al respecto. Se espera que, como parte de la transición energética, este tipo de tecnología sea integrada en los procesos de diseño de edificaciones o cuando los sistemas de acondicionamiento de espacios sean remplazados, disminuyendo a su vez los costos de instalación [3].

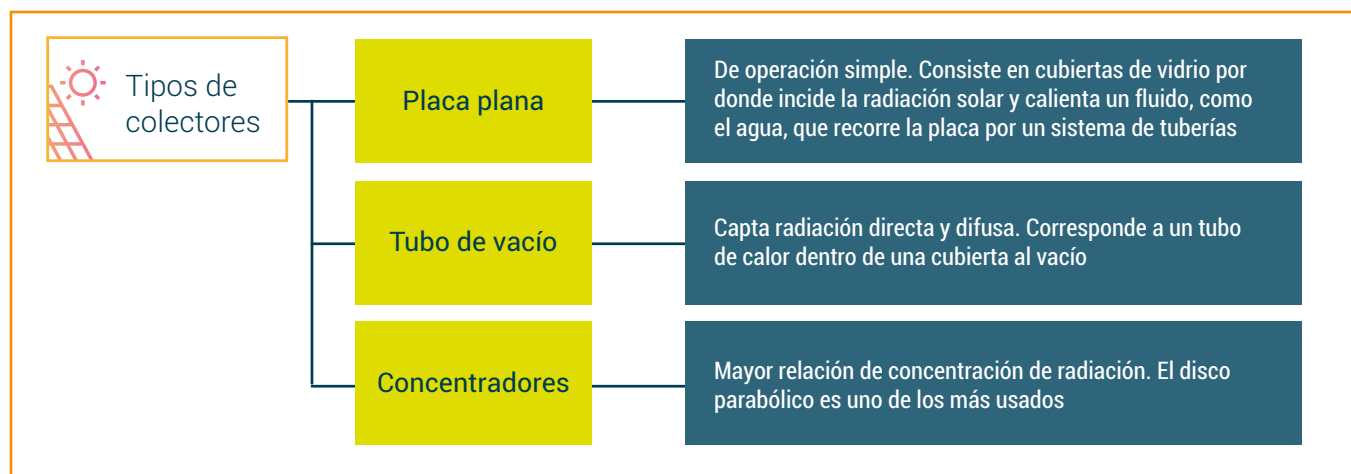
La radiación solar es una de las principales fuentes de energía renovable que en la actualidad se encuentra en mayor desarrollo y uso a nivel mundial. La tecnología solar térmica emplea dicha radiación para la obtención de la energía con la que se eleva la temperatura de un fluido (agua, aire, otros), la cual puede ser empleada, entre otros usos finales, para calefacción y enfriamiento [2]. Los principales sistemas de energía solar térmica utilizan el fluido caliente en usos directos de calentamiento de agua para suplir demandas térmicas, o en intercambiadores de calor para ser empleado en otras aplicaciones finales [4].

Las tecnologías de calentamiento y enfriamiento para aplicaciones residenciales, se encuentran disponibles comercialmente hace más de 30 años. En algunos países, como Chipre e Israel, la tecnología ha tenido una penetración de más de un 90% en el sector residencial [4].

Los sistemas solar térmicos resultan atractivos para países con las siguientes características:

- Los que cubren sus necesidades de calentamiento con importaciones de gas y/o petróleo,
- Aquellos con economías emergentes donde los usos de las tecnologías eléctricas para el calentamiento están ocasionando la expansión del sistema eléctrico,
- Países con altas demandas de enfriamiento sobre todo durante horas soleadas [4].

El colector solar es el principal elemento en los sistemas solar térmico, el cual se encarga de concentrar los rayos del sol para aumentar la temperatura de un fluido de trabajo. El mercado actual de colectores solares se encuentra liderado por tecnologías que emplean el colector de canal parabólico, tanto en términos de proyectos como en capacidad instalada (85% de la capacidad) [2]. La eficiencia de este tipo de tecnologías, definida como el cociente entre la energía absorbida y la radiación solar captada, está relacionada principalmente con la elección del colector solar [5]. Se destacan tres tipos: el colector de placa plana (FPC), el tubo de vacío y los concentradores. En la figura 1 se presentan algunas de sus principales características.

Figura 2. Tipos de colectores solares [5]

La Tabla 2 presenta los tipos de colectores más empleados en la actualidad, así como los principales parámetros que permiten identificar los más adecuados, de acuerdo con el sistema y uso final que se requiera. En la actualidad la eficiencia máxima alcanzada por estos colectores es cercana al 90% [1]

Tabla 2. Características colectores solares en el mercado [1]

Tipo de movimiento	Tipo de colector	Relación de concentración	Rango de temperatura [°C]
Estacionario	Placa plana	1	30-200
	Tubo de vacío	1	50-200
	Parabólico	1-5.	60-300
Seguimiento de un solo eje	Reflector Fresnel lineal	1-10.	60-250
	Reflector de canal parabólico	15-45	50-400
	Reflector de canal cilíndrico	10-50.	60-300
Seguimiento de doble eje	Reflector de disco parabólico	600-2000	100-1500
	Colector de heliostato o torre solar	300-1500	150-2000

Dado que los colectores corresponden al principal funcionamiento de los sistemas de calentamiento con energía solar térmica, en la siguiente sección se profundiza en la descripción de estas tecnologías y se discuten sus principales características.

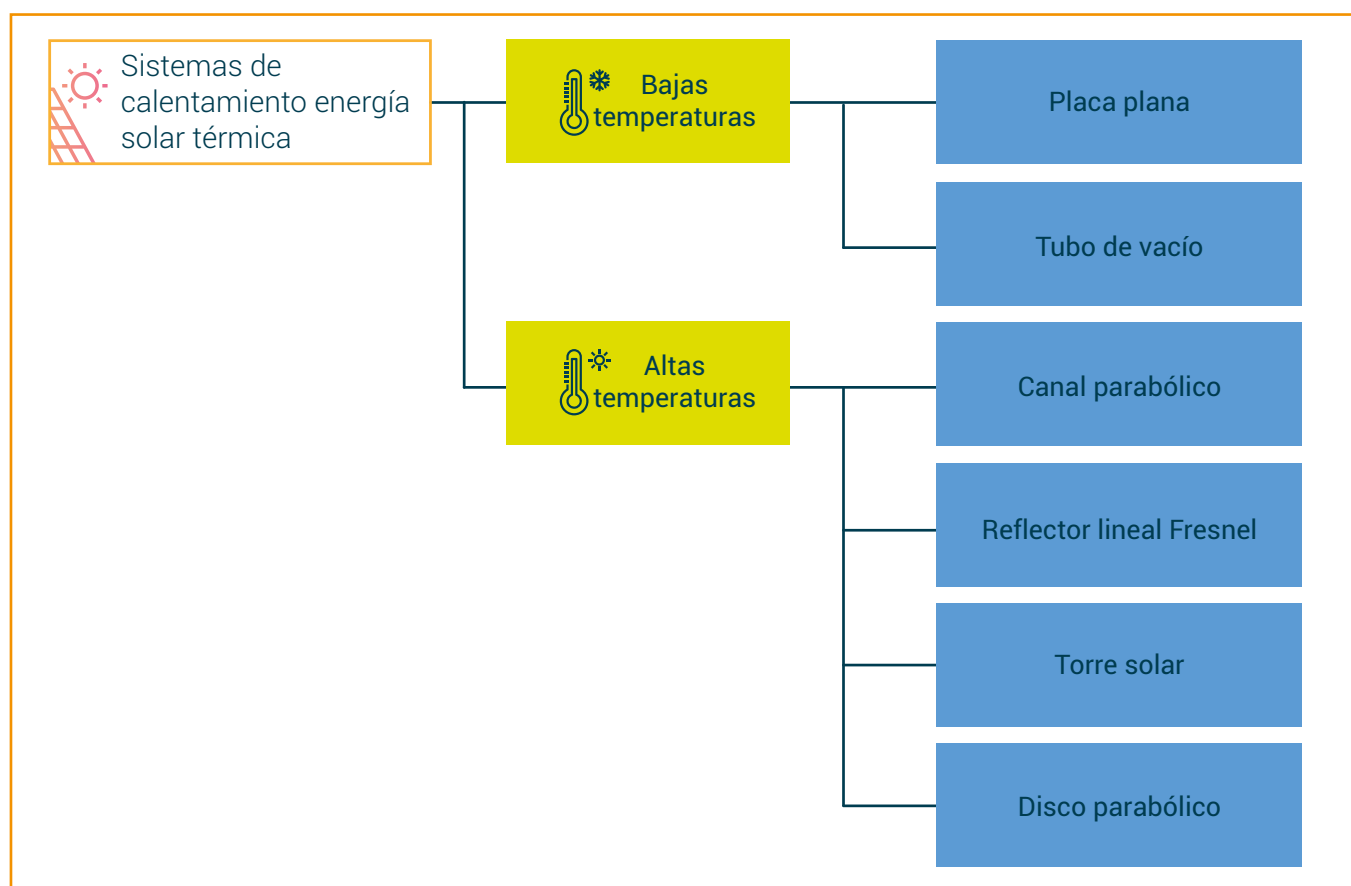
2.1. Sistemas de calentamiento solar térmico

Las tecnologías renovables de calentamiento y enfriamiento jugarán un papel fundamental dentro de las opciones disponibles para sistemas energéticos sostenibles, ya que su funcionamiento depende de una fuente ampliamente aprovechable, además de ser generada de forma descentralizada [6].

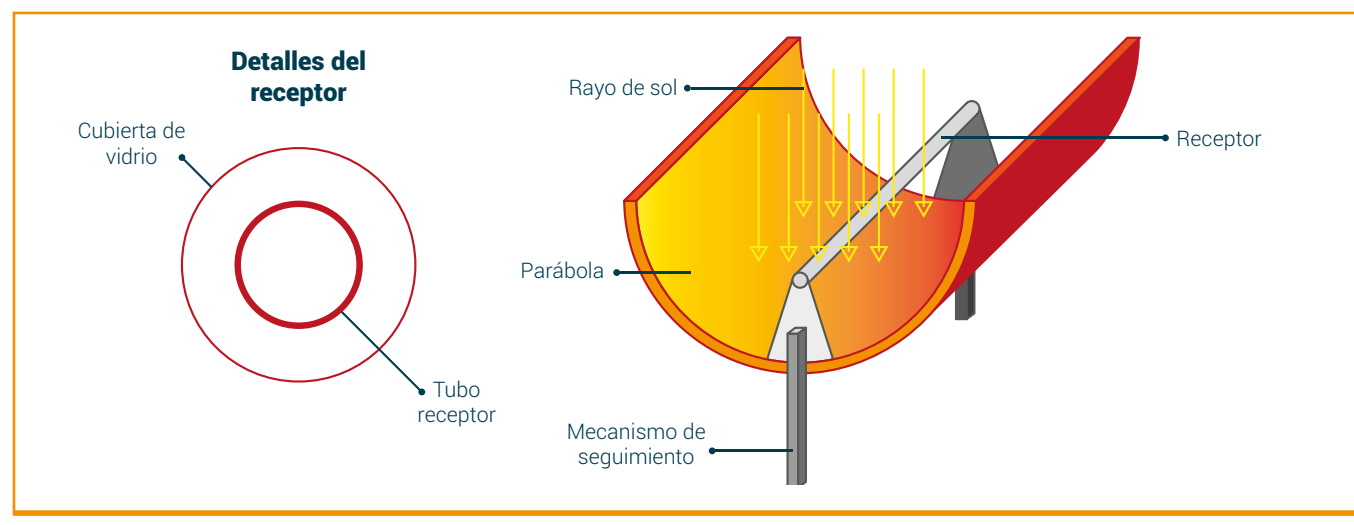
Para el caso de calentamiento solar térmico, la principal aplicación se encuentra en el calentamiento de agua para uso doméstico. Igualmente, de acuerdo con las condiciones y configuraciones de estos sistemas, las necesidades térmicas de un edificio pueden ser suplidas con energía solar [3].

En este sentido, la tecnología solar térmica para usos finales de calentamiento de acuerdo a sus aplicaciones, puede ser clasificada como de baja y alta temperatura como se presentan en la Figura 3. Los sistemas solares térmicos para bajas temperatura incluyen las tecnologías que emplean colectores de placa plana y tubo de vacío, que alcanzan valores promedio de entre 30° y 200°C. Las principales aplicaciones se relacionan con el calentamiento de agua, espacios y piscinas [2].

Los sistemas de altas temperaturas se basan en dos métodos de colección solar. El primero concentra la radiación solar en un eje y la enfoca a una línea, alcanzando temperaturas entre 100°-550°C, siendo económicos y fáciles de operar. El segundo concentra los rayos solares en dos ejes y lo enfoca en un punto, con lo que se obtienen temperaturas mucho más altas (mayores a 800°C), por esto se emplean mayormente en aplicaciones industriales y para generación de electricidad.

Figura 3. Sistemas solar térmico calentamiento [2]

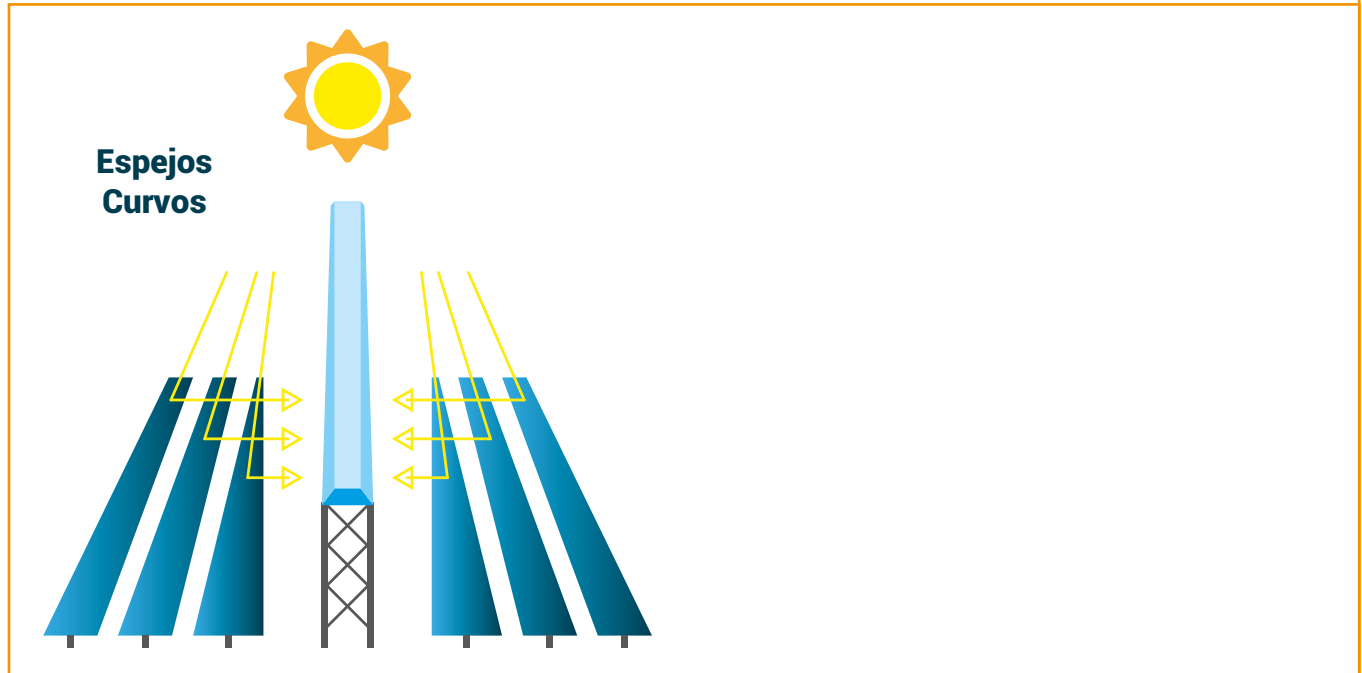
Canal Parabólico (PTC): se construye en una lámina de un material reflectivo doblado en forma parabólica, y se coloca un tubo de metal negro, con cubierta de vidrio para evitar pérdidas, en la línea focal para recibir los rayos solares captados [7], como se observa en la Figura 4. En la mayoría de los casos el fluido de transferencia de calor es un aceite sintético empleado para generar calor sobrecalentado [2].

Figura 4. Esquema colector canal parabólico [7]

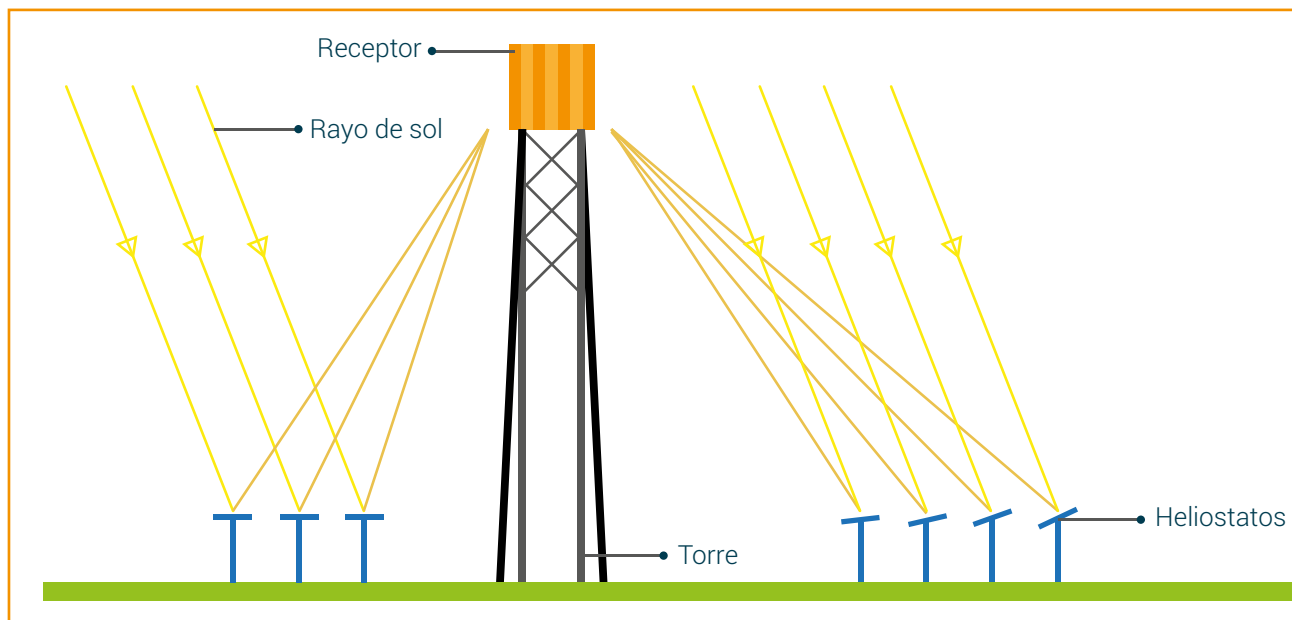
En la actualidad la tecnología de canal parabólico es la que cuenta con mayor experiencia operativa y comercial [8].

Reflector lineal Fresnel: consiste en la concentración de rayos solares a través de un arreglo de espejos planos o ligeramente curvos, ubicados en diferentes ángulos hacia un receptor fijo lineal sobre una torre (Figura 5). Una de sus principales ventajas es que utiliza reflectores mucho más baratos comparados con los de vidrio parabólico, así como menores requerimientos estructurales [2][7].

Figura 5. Esquema reflector lineal Fresnel [9]

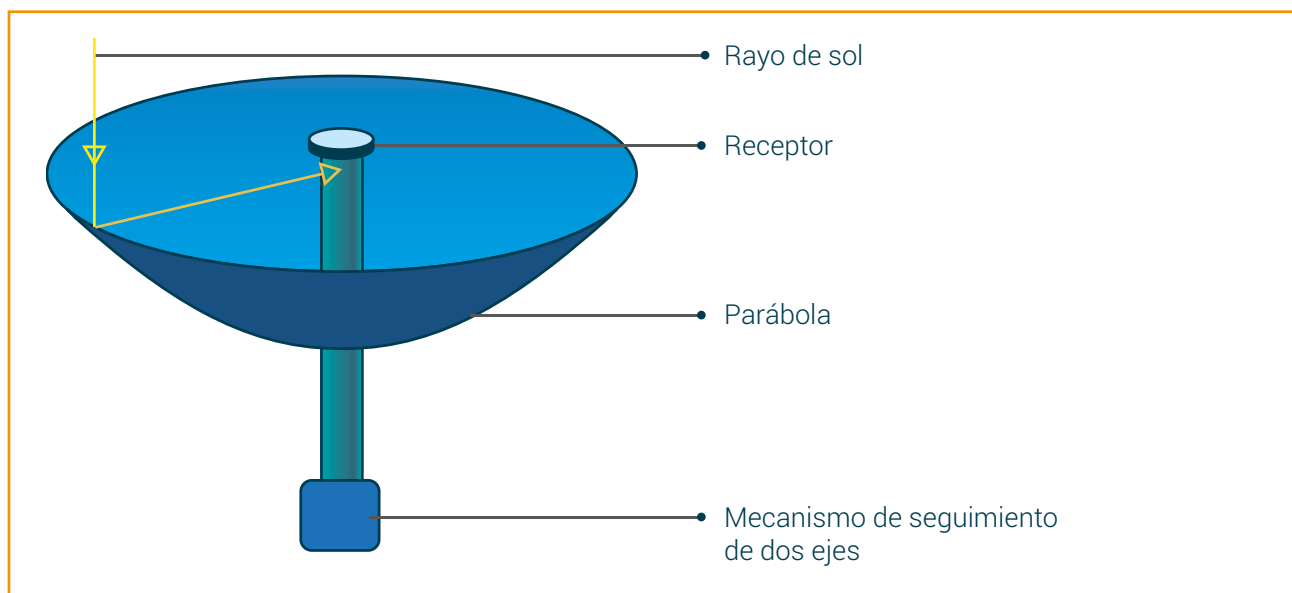


Torre solar: también conocido como colector de heliostato, representado en la Figura 6, puede emplearse para concentrar valores extremadamente altos de radiación solar, los cuales son reflejados hasta un objetivo o receptor común, mediante espejos cóncavos. Con esta tecnología se pueden obtener altas cantidades de energía térmica que puede ser usada directamente para la generación de vapor a alta presión y temperatura [2] [7].

Figura 6. Esquema torre solar [7]

Este sistema es altamente eficiente tanto en la concentración de energía solar, como en la conversión a energía eléctrica.

Reflector de disco parabólico: en esta tecnología los rayos se colectan en dos ejes, concentrando la energía solar en un receptor localizado en el punto focal del disco, como se ve en la Figura 7.

Figura 7. Esquema reflector disco parabólico [7]

Gracias a que siempre se encuentra apuntando al sol, este es el sistema más eficiente de colección de rayos solares. Asimismo, es altamente eficiente para sistemas de absorción de energía térmica y generación de energía eléctrica.

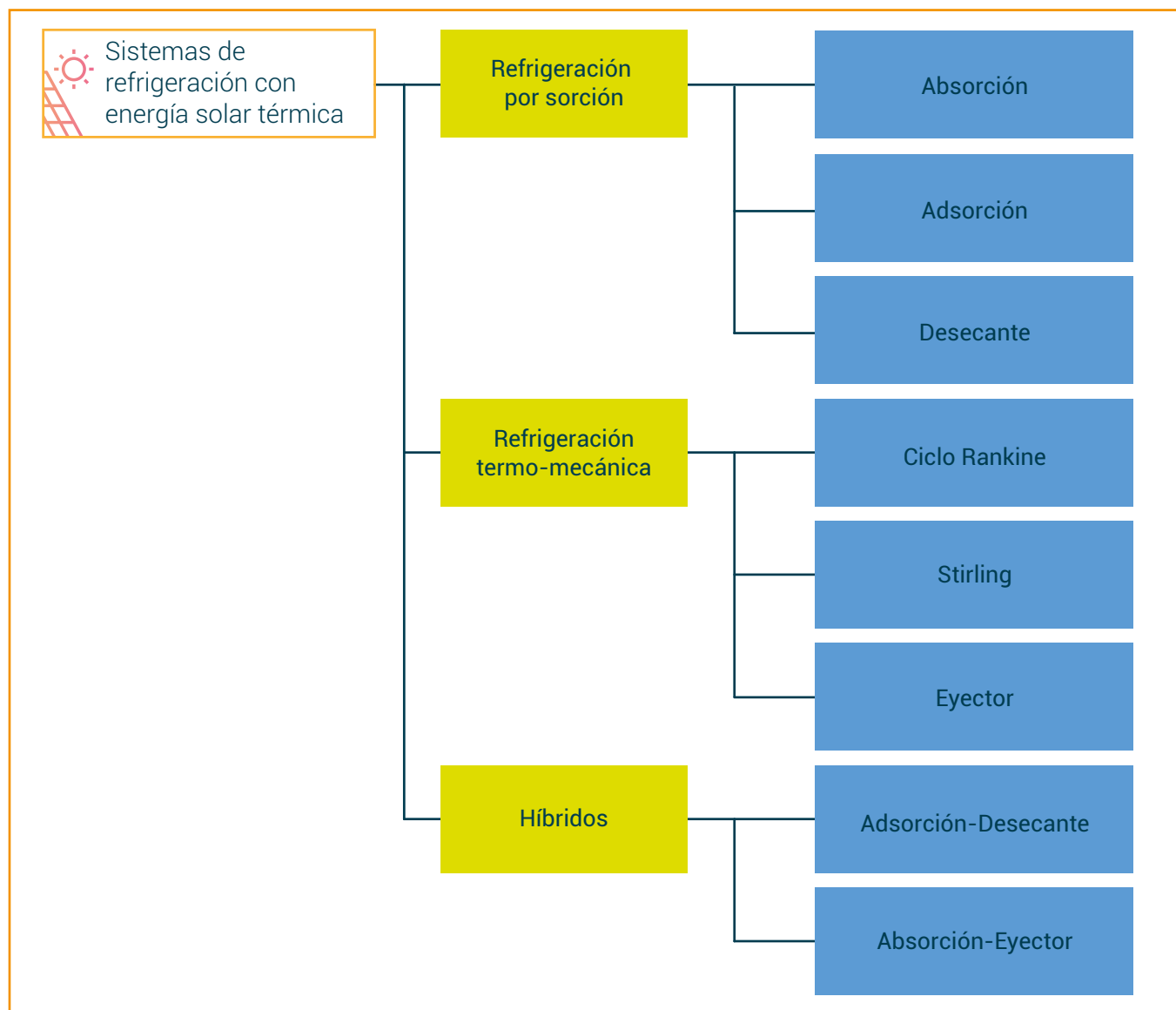
Finalmente, la Tabla 3 resume algunas ventajas y desventajas de las principales tecnologías solar térmica empleadas en procesos de calentamiento para distintos usos finales. De acuerdo con esta información, algunos sistemas se encuentran aún en fase de desarrollo, sin embargo, también presentan buenos potenciales para su mejoramiento y una eventual participación en el mercado de forma más significativa.

Tabla 3. Comparación de algunas tecnologías solar térmica [10]

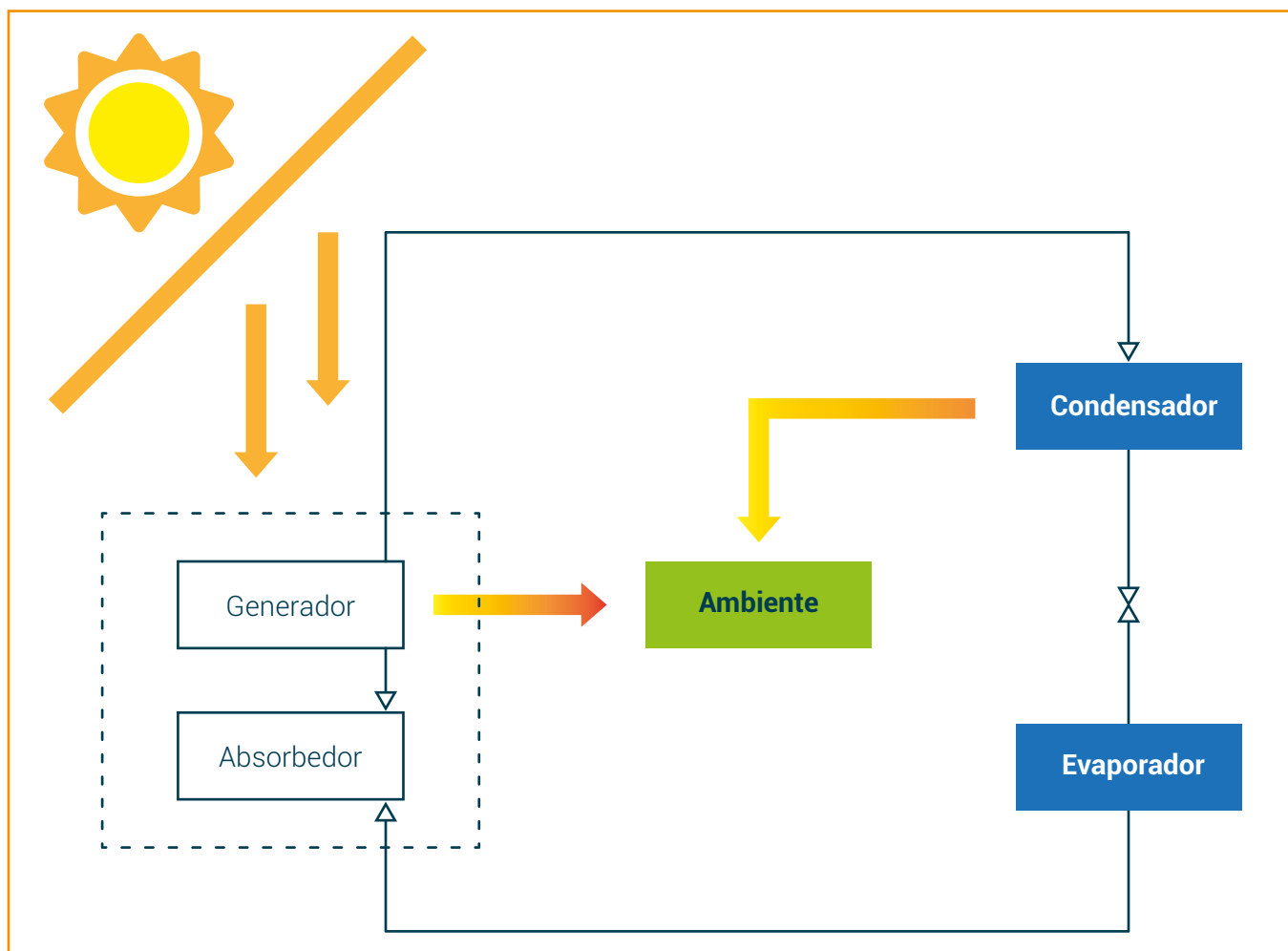
Tipo	Ventajas	Desventajas
Canal parabólico	Probado comercialmente. Baja demanda de materiales. Costos de inversión y operación evaluados comercialmente.	Obtención de vapor de mediana calidad (alrededor de 400°C).
Torre solar	Temperatura de operación potencial sobre los 1000°C. Operación combinada con sistemas térmicos convencionales. Mejor opción para usar en terrenos irregulares.	Se requiere evaluación de costos de inversión y operación a escala comercial.
Fresnel lineal	Menores costos de producción de espejos planos. Mayor eficiencia que el de canal parabólico.	Fase de prueba. Pequeños proyectos en operación.
Disco parabólico	Experiencia operativa a nivel de proyectos de demostración. Construcción fácil. Tecnología modular.	Costos de producción en serie aún en verificación.

2.2. Sistemas de refrigeración solar térmica

Los diferentes sistemas de tecnologías que emplean la energía solar térmica para refrigeración se clasifican de acuerdo con su principio de funcionamiento, como se presenta en la Figura 8, los cuales son descritos de acuerdo a la investigación desarrollada por Allouhi y colaboradores [1].

Figura 8. Sistemas de refrigeración con energía solar térmica [1]

Refrigeración por sorción solar: la potencia térmica realiza el trabajo del compresor eléctrico en una máquina convencional. En este caso, el efecto refrigerante se produce por relaciones químicas o físicas de un par de sustancias específicas para este fin [1]. La Figura 9 esquematiza este sistema de refrigeración

Figura 9. Sistema de refrigeración solar por sorción [1]

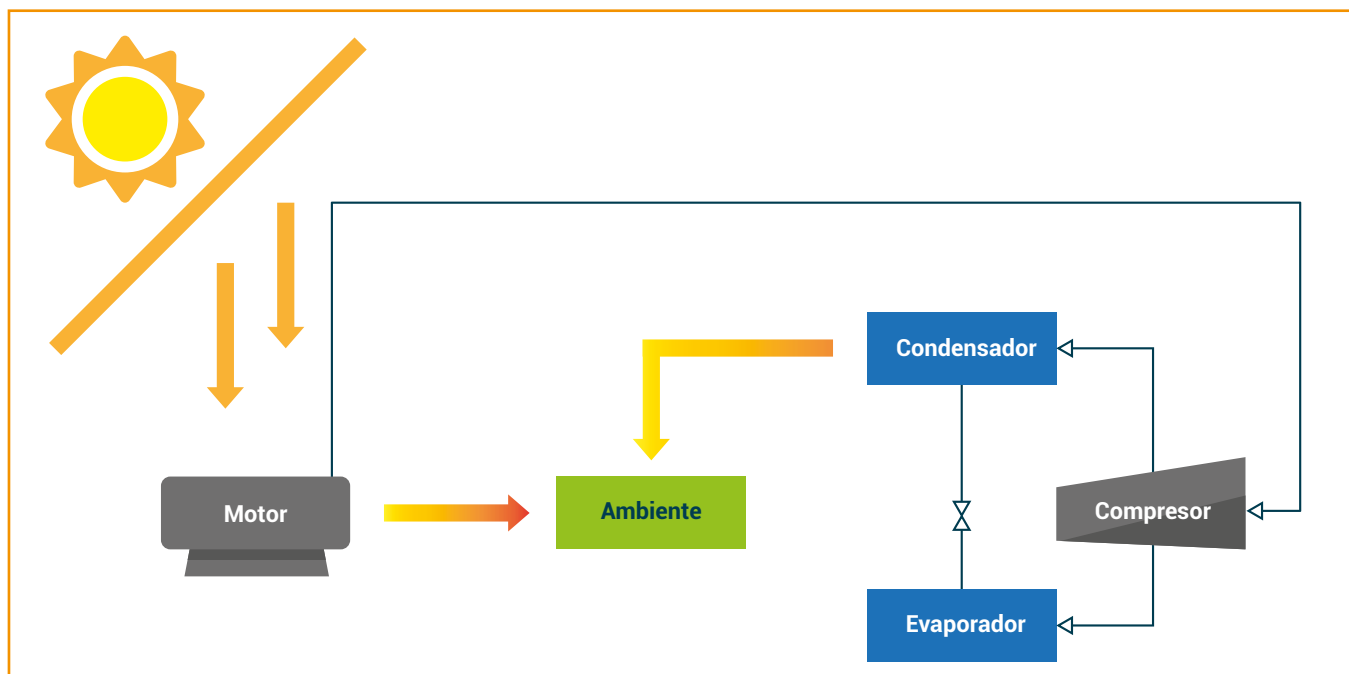
Sistemas de absorción: fueron los primeros sistemas de refrigeración solar desarrollados a finales del siglo XIX. Utilizan las propiedades de liberación de calor de una sustancia (absorbente) y las de tomar calor de otra (desorbente). Las parejas de sustancias más ampliamente usadas son amoníaco-agua ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$) y agua-bromuro de litio ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$). La primera puede ser usada tanto para aplicaciones industriales como de acondicionamiento de espacios, mientras que la segunda solo en refrigeración de edificaciones [1].

Sistemas de adsorción: el fenómeno ocurrido en este sistema es similar a los de absorción, con la diferencia de que se emplea un sólido como adsorbente y un gas como refrigerante. La mayoría integra la cama de sólido adsorbente con el colector solar, y por lo general emplean dos ciclos de adsorción con el que se obtienen COP de 0.6. Las sustancias más empleadas son zeolita-agua y sílica gel-agua [1].

Sistemas desecantes: estos sistemas combinan la deshumidificación y el enfriamiento por evaporación en su principio de funcionamiento. Puede ser considerado como un sistema de sorción abierto, ya que el agente sorbente se emplea como deshumidificador del aire. Pueden operar con fases líquidas y sólidas [1].

Refrigeración termo-mecánica: estos sistemas emplean el principio de transformación del calor solar en trabajo mecánico que pueda proveer de energía al compresor de vapor, para producir el efecto de enfriamiento [1] como se presenta en la Figura 10.

Figura 10. Sistema de refrigeración termo-mecánica [1]



- **Ciclo Rankine:** Emplea la alta presión del vapor generado como fluido de trabajo para operar una turbina en ciclo de potencia. Desde su desarrollo no ha sido competitivo económicamente [1].

- **Stirling:** en este sistema el ciclo de refrigeración se fundamenta en el cambio de volumen producido por el efecto de un pistón que genera cambios en la presión y temperatura del gas. Es apto principalmente para aplicaciones de rangos de baja temperatura. Esta tecnología está prácticamente limitada por la capacidad, ya que ésta es inversamente proporcional a la eficiencia [1].

- **Eyector:** su principal desarrollo se presenta como una alternativa a los sistemas de compresor con generador, en el ciclo de compresión de vapor. No obstante, esta tecnología tiene valores de COP bajos (alrededor de 0.3) y el diseño del eyector es bastante complejo, sin embargo, el sistema es sencillo y los costos de operación son menores [1].

Sistema de Refrigeración Híbridos

- **Adsorción-desecante:** se obtienen mejores desempeños, en comparación con el sistema adsorbente solo. En condiciones típicas de operación el COP del sistema se encuentra alrededor de 0,4 con temperaturas de salida menores a 20°C [1].

- **Absorción-eyector:** el principal objetivo de esta combinación es disminuir las pérdidas ocurridas en la refrigeración por absorción convencional. A pesar de que alcanza menores valores de desempeño, el sistema híbrido presenta costos totales anuales menores [1].

Finalmente la Figura 11 presenta un análisis comparativo en cuanto a algunas ventajas y desventajas para los principales sistemas de refrigeración solar térmica

Figura 11. Comparación principales tecnologías de refrigeración solar térmica [1]

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
Sistema absorción	<ul style="list-style-type: none"> - Operación silenciosa - Alta confiabilidad - Fácil implementación 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de insatación y área para sistemas continuos. - Alta temperatura liberada al ambiente.
Sistema adsorción	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de mantenimiento. - No requiere partes movibles. - Bajas temperaturas fuente de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo COP - Baja conductividad térmica del adsorbente.
Sistema desecante	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de agua. - Baja temperatura liberada al ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se dificulta el diseño a pequeña escala. - Requiere deshumificador.
Eyector	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos de operación. - Bajas temperaturas fuente de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo COP. - Complejo diseño del eyector.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en
Revisión de Programas de Fomento a
Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial

3. Panorama mundial y tendencias

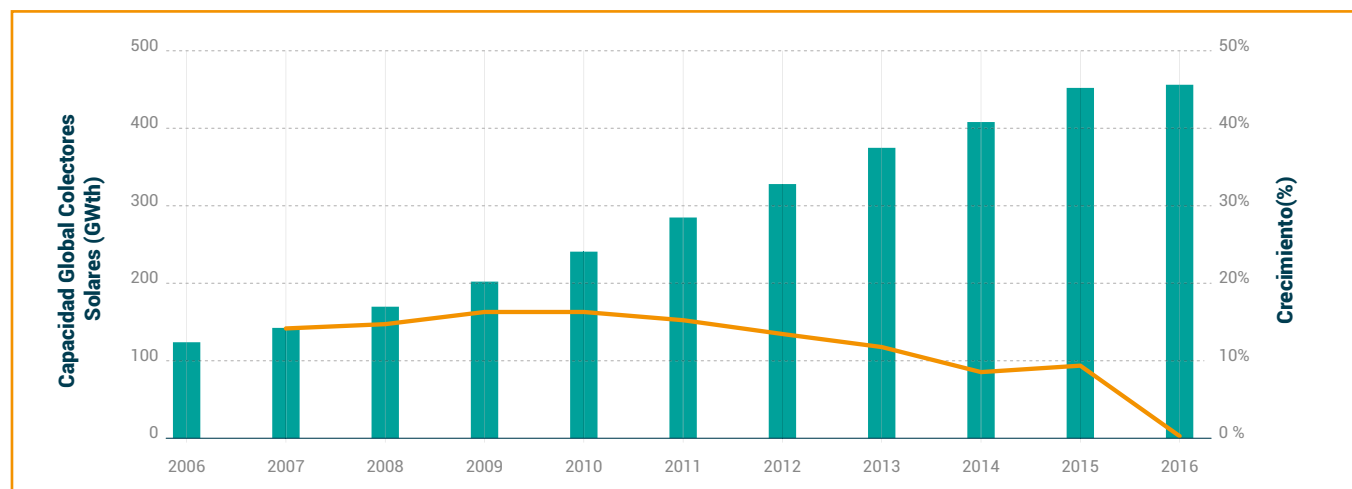
Bogotá
Abril de 2018

3. Panorama mundial y tendencias

De acuerdo con el reporte 2017 sobre energías renovables del REN 21, al año 2016 la capacidad global de energía solar térmica fue incrementada en un 5%, alcanzando valores cercanos a las 456 GWth, con lo que se mantiene el incremento constante que ha tenido en los últimos años, pero a menor velocidad como se presenta en la figura 6. La principal contribución a este aumento fue la participación de China, seguido por Turquía, Brasil y Estados Unidos [11].

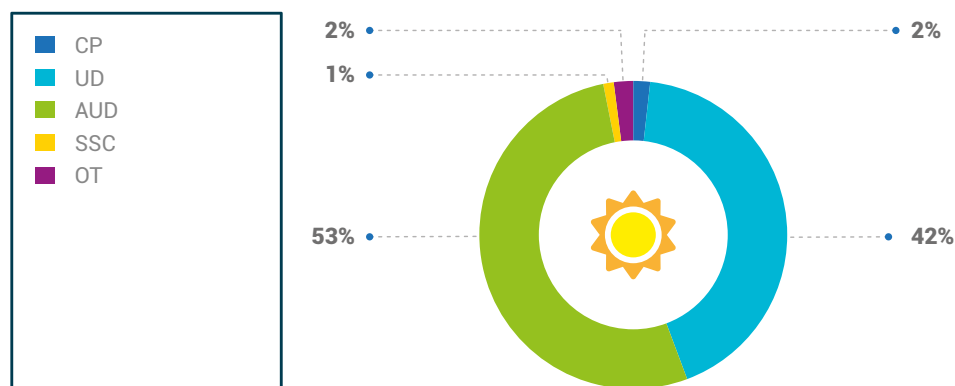
La mitad del consumo de energía final en el mundo está dada por usos que requieren la producción de calor (agua, cocción, procesos industriales), siendo el sector industrial el principal consumidor con un 56%. En el caso del enfriamiento es significativamente más bajo, sin embargo, ha venido creciendo rápidamente en muchos países [11].

Figura 12. Capacidad Global y crecimiento de Colectores Solares [11]



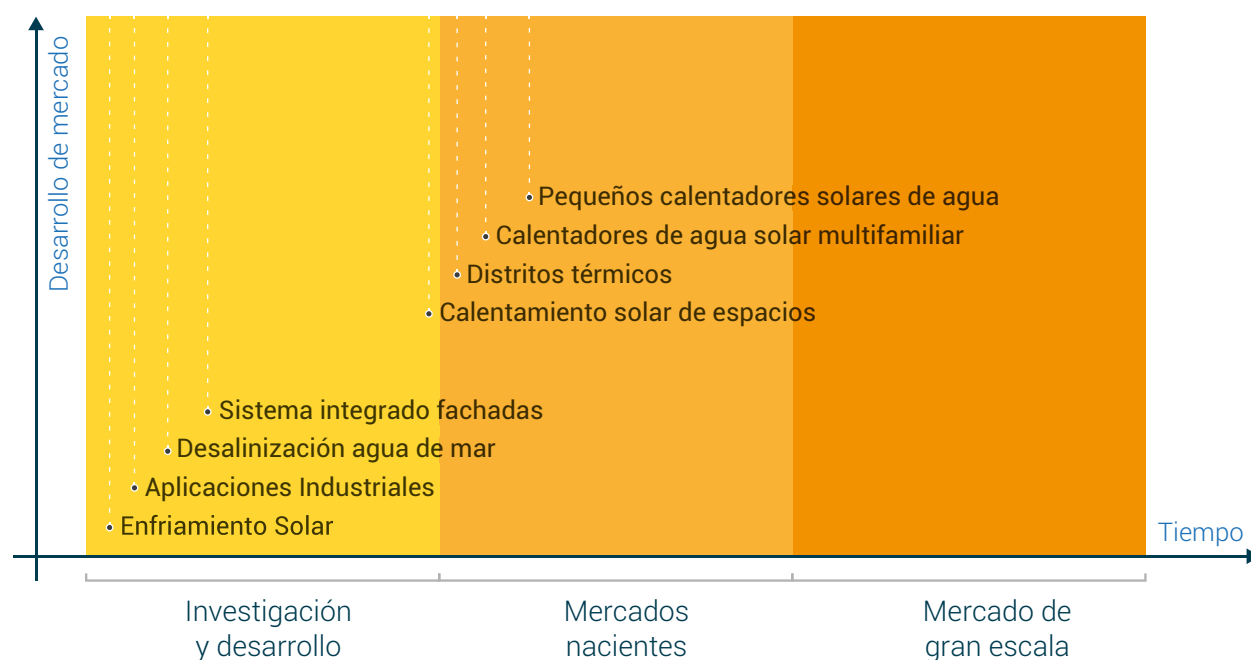
A pesar de que la capacidad global instalada en las tecnologías de colectores solares ha aumentado en los últimos años, se observa en la Figura 12 una desaceleración en el crecimiento, mostrando, por ejemplo, un crecimiento casi nulo de 2015 a 2016 (0.66%) comparado con periodo 2008-2009 (16.3%), lo cual puede ser atribuible a los diversos desafíos que se presentaron en ese periodo, como la caída de los precios del petróleo, entre otros [11].

Las principales aplicaciones a nivel mundial de la tecnología solar térmica se concentran en la generación de agua caliente (especialmente en los sectores residencial y doméstico público y turístico), calentamiento o enfriamiento de espacios, secado de productos, producción de vapor y calor o refrigeración al sector industrial [11]. La figura 12 presenta estas aplicaciones junto a la participación del enfriamiento solar que corresponde a menos del 2% de aplicaciones totales instaladas a nivel global.

Figura 13. Aplicaciones de sistemas térmicos solares [11]

CP: Calentamiento de piscinas, **UD:** Usos domésticos, **AUD:** Amplios usos domésticos (sector público y turístico), **SSC:** Sistemas solares combinados, **OT:** Otros (Distritos térmicos, enfriamiento).

Por otro lado, según el reporte de la agencia internacional de energía [12], la Figura 14 presenta diversos usos del calentamiento térmico, de acuerdo con la madurez de la tecnología y el desarrollo en el mercado. Los pequeños calentadores solares de agua son los de mayor madurez y mejor desempeño en el mercado actual. El enfriamiento solar y las aplicaciones industriales, aún continúan en fase de investigación y desarrollo, lo que explicaría que no se estén empleando con mayor intensidad.

Figura 14. Usos de calentamiento térmico a diferente madurez tecnológica [12]

En el panorama mundial, países como México e India, han incrementado de forma rápida el uso de tecnología solar térmica para el sector industrial. En el caso de países con altas tasas de radiación solar se ha incrementado el uso de sistemas de refrigeración solar, especialmente para el sector comercial [11].

El mercado de la tecnología solar térmica para América Latina en 2014, mantenía una dinámica estable de crecimiento, dominado por Brasil pero con aportes también significativos del mercado mexicano, al igual que el de Chile, siendo los principales responsables de este crecimiento [13].

Las industrias alimenticias, de bebidas y mineras, junto a los sistemas de distritos térmicos, han incrementado el uso de energía solar térmica en el desarrollo de sus procesos. Tal es el caso de una planta para la recuperación de aceites en Omán y Dinamarca, que ha implementado uno de los sistemas más grandes de energía solar térmica incorporados a distritos térmicos en el país [11].

Actualmente, entre las áreas industriales de aplicación más significativas para la tecnología solar térmica de calentamiento, se encuentran las de alimentos y bebidas, textiles y química [12]. Procesos como la pasteurización y esterilización requieren temperaturas alrededor de 75°C y 105°C, que pueden ser alcanzadas con la tecnología solar térmica, entre otros usos como precalentamiento al agua de calderas.

Para procesos de calentamiento a altas temperaturas los dispositivos tecnológicos son diferentes, siendo el de canal parabólico el más usado en procesos industriales que requieren menos de 400°C. Por ejemplo, la empresa Frito-Lay en California emplea aproximadamente 5 mil m² de canal parabólico para producir el vapor que calienta el aceite, para freír los chips [12].

Las estimaciones muestran que para el año 2050 el calentamiento solar solo estará cercano al 5% del consumo mundial para el sector industrial. Sin embargo, la aplicación de la tecnología se perfila más cercana al calentamiento de agua residencial o distritos térmicos de calentamiento [12].

El uso de gas natural en procesos de calentamiento del crudo en la refinación de petróleo, y las posibles restricciones de disponibilidad de este combustible, podrían hacer que se empiece a utilizar la energía solar térmica como una alternativa para este sector [12].

El calentamiento solar para procesos industriales, y otras aplicaciones a gran escala, también presentan un mercado prometedor. A 2014 se contaban con 155 sistemas solares térmicos para procesos de calentamiento a nivel mundial, estando principalmente en el sector de alimentos y bebidas, minería e industria textil y de cuero [14].

En esta misma tendencia se encuentra los sistemas híbridos, en donde la tecnología solar térmica se encuentra combinada con otros dispositivos que ayudan a garantizar el suministro de calor requerido; como el caso alemán, donde se tienen los sistemas solares térmicos con hornos a gas natural o en China donde se combina con tecnología eléctrica para calentamiento [11].

Por su parte, el calentamiento de agua residencial representa más del 30% del consumo de energía de este sector, lo que hace a los sistemas solares de calentamiento una de las aplicaciones solares más factibles en la actualidad. Los sistemas solares térmicos simples que operan con tecnología de termosifón pueden ser instalados en terrazas y techos para estos objetivos [12].

A nivel mundial, más de las tres cuartas partes de los sistemas solares térmicos empleados en aplicaciones que no requieren altas temperaturas, son de termosifón y el resto son de la tecnología de bomba de calor. En las nuevas aplicaciones de estos sistemas, es el colector de tubo de vacío la tecnología más empleada a nivel mundial (dado que es el más usado en China), seguido por el del placa plana (el más usado en Europa) [13].

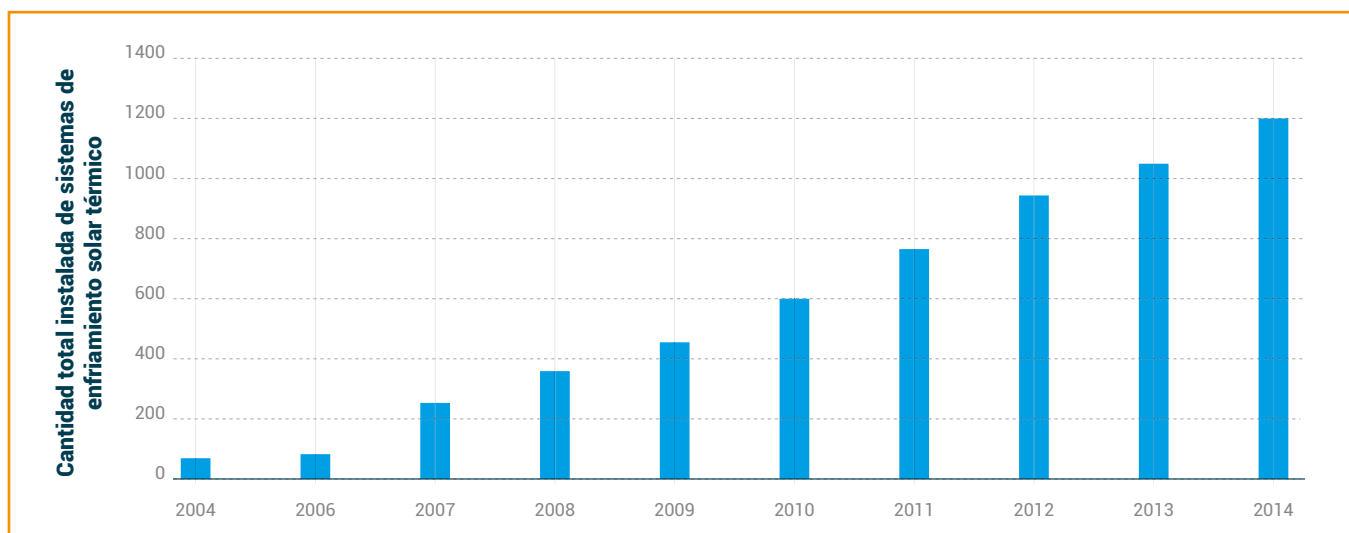
Las diferencias en las tecnologías solar térmica se dan en términos del diseño óptico, forma del receptor, tipo y capacidades térmicas del fluido de transferencia. Por otra parte, a pesar de que la tecnología de torre solar es superada en razón de concentración y eficiencia por el disco parabólico, para aplicaciones de altas temperaturas, ofrece la mayor prospectiva para futuros reducciones de costo [2].

La tendencia actual es mejorar la eficiencia de los colectores solares, a través del diseño de materiales espectro selectivos, en el que se logre maximizar la absorción de longitudes de onda corta de la radiación solar y minimizar la emisión de las ondas de longitud larga [2].

En 2014 se contaba con 1200 plantas de enfriamiento solar a nivel mundial (Figura 15), considerando las diferentes variedades de estas tecnologías y dimensiones. Esto muestra que la tecnología representa aun poca participación en el mercado, si se compara con el volumen de sistemas de refrigeración por compresión que se venden cada año. Sin embargo, es un tipo de tecnología que promete tener un buen mercado con oportunidades para actores involucrados y el futuro de los sistemas energéticos renovables [14].

El enfriamiento solar térmico con sistemas de absorción también es una aplicación industrial, que puede ser considerada como un sistema con varias oportunidades para la industria alimenticia [12]. El enfriamiento de espacios a nivel mundial solo representa el 2% del total de usos finales de energía, siendo las tecnologías eléctricas las más usadas para satisfacer esta demanda. Sin embargo, sobre todo en países en desarrollo, se incrementan los picos de demanda eléctrica, los cuales podrían ser suplidos por la tecnología solar de enfriamiento [11].

No obstante, esta tecnología no ha mantenido la tendencia creciente de las demandas de enfriamiento, principalmente por la flexibilidad de instalación y la competitividad económica del enfriamiento a base de electricidad [11].

Figura 14. Usos de calentamiento térmico a diferente madurez tecnológica [12]

En aspectos económicos, los costos reales de calentamiento solar son más difíciles de definir que otras aplicaciones de la energía solar, ya que depende también del uso efectivo del calor colectado, que puede ser significativamente variable. Se espera que a 2030 los precios de tecnología solar térmica disminuyan, por lo menos un 30% del costo actual, en regiones como Europa central y sureste [12].

En temas de generación de empleos por el uso de tecnologías de energía renovable, se estima que los sistemas de calentamiento y enfriamiento solar generan más de 900 mil trabajos, estando en el cuarto lugar, después de la energía solar fotovoltaica, los biocombustibles y la energía eólica, que superan el millón de empleos [15].

Se identifica la necesidad de la ampliación de políticas y creación de otras que apoyen este tipo de tecnologías, sobre todo las de procesos de calentamiento solar que raramente son impulsadas por algún gobierno, y cuyo potencial es bastante importante, así como el aspecto económico, incluso siendo más favorable en ocasiones que los sistemas de calentamiento de espacios [12].

En el caso alemán se está considerando una transición de energía térmica a 2030, puntualizando en un marco claro con objetivos y metas tendientes a la disminución de gases de efecto invernadero. Dentro de las tecnologías claves se encuentran la eficiencia en edificaciones, redes de calentamiento y bombas de calor [16].

En el ámbito ambiental, el uso de los sistemas solares térmicos permite disminuir emisiones de CO₂, al ser una tecnología de casi cero emisiones. Para el año 2014, de acuerdo con estudios del programa de calentamiento y enfriamiento solar del IEA para 61 países, la cantidad de energía empleada para calentamiento a través de sistemas solares térmicos, representó ahorros de más de 100 millones de toneladas de CO₂ [13].



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en Revisión de Programas de Fomento a Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial

4. Conclusiones



Bogotá
Abril de 2018

4. Conclusiones

El ejercicio de vigilancia tecnológica en aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de calentamiento y enfriamiento, permitió identificar los principales tipos de sistemas empleados en la actualidad, así como sus principales características y aplicaciones. A continuación se resaltan los principales aspectos de interés en respuesta a los objetivos trazados por el estudio:

- Se identificó que a nivel mundial la tecnología solar térmica se usa principalmente para el calentamiento de agua residencial, especialmente a través de colector de placa plana y el de tubo de vacío, preferidos por su facilidad de operación e instalación, los cuales también han mostrado una buena madurez tecnológica y de mercado.
- Para las aplicaciones donde se requieren mayores temperaturas, la tecnología de canal parabólico es la de mayor capacidad instalada a nivel mundial, no obstante, la tendencia también muestra a la de torre solar como la de mayor potencial en crecimiento.
- En cuanto a la generación de frío, se observa que la tecnología solar térmica podría ayudar a los países en desarrollo a cubrir su demanda actual en refrigeración. Esto permitiría mitigar los picos de consumo eléctrico, asociados al uso de dispositivos eléctricos como aires acondicionados, aprovechando el recurso solar disponible en las horas en que más se requiere de refrigeración.
- En el sector industrial la tecnología solar térmica se emplea principalmente en calentamiento y enfriamiento en los procesos de empresas alimenticias, de bebidas, textiles, minería y química. Dado que estos sectores son representativos en el sector industrial colombiano, la solución podría ser evaluada para su implementación en empresas de zonas con alto potencial solar térmico.
- Al igual que otras tecnologías de aprovechamiento de fuentes de energía renovables, los sistemas de calentamiento solar y enfriamiento solar térmico, requieren de políticas y marcos normativos que incentiven su uso, para que la penetración a los mercados se haga de forma más rápida y eficiente, lo que en la actualidad no se identifica en el panorama mundial.
- A pesar de la dificultad de definir los costos de este tipo de sistema, las estimaciones tendenciales de mercados europeos muestran que a 2030 los costos podrían disminuir hasta en un 30%, con el aumento del desarrollo tecnológico y de investigación.
- La tecnología solar térmica también puede contribuir significativamente en la reducción de emisiones de CO₂ por su naturaleza de bajas emisiones, y de esta forma contribuir con los planes y compromisos ambientales de los países en la coyuntura mundial del cambio climático.
- Finalmente, se identifican algunas oportunidades I+D+i que pueden contribuir al desarrollo y uso de estos sistemas de energía, como lo son: el fortalecimiento de grupos y líneas de investigación sobre energía solar térmica, sobre todo en el acondicionamiento de espacios, aplicaciones industriales, potenciales de la tecnología solar térmica para las condiciones del país.

- En este mismo sentido, es fundamental llevar a cabo evaluaciones integrales sobre el uso de tecnología solar térmica para el calentamiento de agua residencial, en cambio de energéticos tradicionales como el gas natural y la electricidad, así como propiciar el desarrollo de diseño y construcción de tecnología solar térmica en el país para promover el mercado interno de estos sistemas y la industria nacional.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en Revisión de Programas de Fomento a Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial

5. Referencias Bibliográficas

Bogotá
Abril de 2018

5. Referencias Bibliográficas


- [1] A. Allouhi, T. Kousksou, A. Jamil, P. Bruel, Y. Mourad, and Y. Zeraoui, "Solar driven cooling systems: An updated review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 159–181, 2015.
- [2] D. Khetarpal, "World Energy Resources: Solar 2016," *World Energy Counc.*, p. 78, 2016.
- [3] Greenpeace, "Energy [R] Evolution," 2015.
- [4] J. Burch et al., "Evaluation of Solar & Heat Pump System Combinations," *IEA-SHC Task 44/ Annex 38*, no. January, pp. 1–8, 2014.
- [5] K. M. Bataineh and S. Alrifai, "Recent trends in solar thermal sorption cooling system technology," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 1–20, 2015.
- [6] Iea, "Solar Heating and Cooling Technology Roadmap," *Oecd Libr.*, p. all, 2012.
- [7] Y. Chu, "Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies, annual report," *Glob. Energy Netw. Inst.*, no. August, p. 56, 2011.
- [8] IRENA, "Renewable Energy Technologies Cost Analysis Series: Concentrating Solar Power," *Compr. Renew. Energy*, vol. 3, no. 2, pp. 595–636, 2012.
- [9] M. Chaanaoui, S. Vaudreuil, and T. Bounahmidi, "Benchmark of Concentrating Solar Power Plants: Historical, Current and Future Technical and Economic Development," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 83, no. Seit, pp. 782–789, 2016.
- [10] A. A. Villamil, J. E. Hortúa, and A. López, "Comparison of thermal solar collector technologies and their applications Comparación de tecnologías de concentradores solares térmicos y sus aplicaciones," vol. 815, no. 153, pp. 27–35, 2013.
- [11] REN21, *Renewables 2017: global status report*, vol. 72, no. October 2016. 2017.
- [12] International Energy Agency (iea), "Solar Energy Perspectives," 2011.
- [13] D. R. Tobergte and S. Curtis, "Solar heat worldwide," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [14] European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), "Solar Thermal Markets in Europe. Trends and Market Statistics 2014," *Articulo generico*, no. June, p. 19, 2015.
- [15] I. 2016 et al., "Renewable Energy and Jobs," no. December, pp. 1–144, 2016.
- [16] Agora Energiewende, "Heat Transition 2030," *Agora Energiewende*, 2017.



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO

Informe de Vigilancia Tecnológica en Revisión de Programas de Fomento a Vehículos Eléctricos a Nivel Mundial

Anexos



Bogotá
Abril de 2018

6. Anexos

Anexo 1. Anexo Metodológico

DEFINICIÓN DE NECESIDADES DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA				
POR QUÉ	<p>Los usos finales de energía son un factor fundamental para la comprensión de las dinámicas energéticas de los países. La tendencia hacia tecnologías de usos finales de energía más eficientes y fuentes de energía renovable contribuye al mejoramiento de la eficiencia energética y al medio ambiente, puntos clave en la actualidad.</p> <p>Dentro de estos usos, son destacables los empleados para los procesos de calentamiento y refrigeración utilizando fuentes de energía renovables, haciéndolos susceptibles de especial atención dado su aplicabilidad y participación en el consumo energético.</p>			
PARA QUÉ	<p>Evaluar el estado actual de las tecnologías de usos finales de energía de calentamiento y enfriamiento que utilicen energía solar térmica, para la verificación de implicaciones en el contexto colombiano.</p>			
Factores críticos de vigilancia	Cuestión Crítica a Vigilar (preguntas de vigilancia)	Descriptor (KW, Sintagmas)	Restrictor (delimitación geográfica, años, etc.)	Prioridad (Alta, Media, Baja)
Tecnologías de uso final de energía	CCV 1.1 ¿Cuáles son las principales características de las tecnologías de aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de enfriamiento	Solar thermal energy, heating, systems, heat pump	Últimos 10 años	Alta
	CCV 1.2 ¿Cuáles son las principales características de las tecnologías de aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de calentamiento?	Solar thermal energy, cooling, refrigeration, systems, heat pump, solar-driven cooling systems, Solar cooling, Absorption chiller solar cooling systems, solar cooling technology, thermally-driven chillers	Últimos 10 años	Alta
Experto(s) de consulta				