

Iris Santos
Azucena Silva
Alejandra Straffon
Omar Masera



Hacia un Programa Nacional de Calentadores Solares de Agua



Hacia un Programa Nacional de Calentadores Solares de Agua



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Iris Santos

Azucena Silva

Alejandra Straffon

Omar Masera

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt)
Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático (Pronace-ECC)



PRONACE
**ENERGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO**

Grupo de Innovación en Ecotecnologías y Bioenergía (GIEB)
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)



Grupo de Innovación Ecotecnológica y Bioenergía



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD
UNAM





Revisión

Eduardo A. Rincón Mejía

Aportación

Mtro. Odón de Buen Rodríguez
Mtro. Juan Ignacio Navarrete Barbosa

Corrección de estilo

Andrea González Márquez
Fabián Espejel

Fotografía

Jimena L. Paz Navarro (pp. 1, 5, 15, 16, 31, 32, 40, 41, 48, 51, 52, 53, 57)
Patrick Rodríguez (p. 3)
Andrea González Márquez (pp. 6, 8, 9)
Iris Santos González (p. 39)

Diseño editorial

Arlen Hernández • tallerhojarasca.com
contacto@tallerhojarasca.com



Citar como: Santos, I., Silva, A., Straffon, A. y Masera, O. (2023). *Hacia un Programa Nacional de Calentadores Solares de Agua*. México: Pronace ECC-Conahcyt.

Este cuaderno temático es producto de un proyecto apoyado por el Conahcyt en el año 2023. Los contenidos y el diseño editorial es responsabilidad de las y los colaboradores. El Conahcyt, con el fin de ampliar el acceso a los resultados y productos de los proyectos apoyados, difunde este documento sin que ello represente una postura institucional.

ISBN en trámite

Diciembre de 2023

Abreviaturas y nomenclatura

CSA	Calentador solar de agua
CO ₂	Dióxido de carbono
GLP	Gas licuado de petróleo
GW _t	Gigawatt térmico
h	Hora
J	Julio
kg	Kilogramo
mbd	Miles de barriles diarios
MN	Moneda nacional
MtCO ₂ e	Millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente
TIR	Tasa interna de retorno
W	Watt

Equivalencias

1 kg de GLP	=	1.85 litros
1 barril del petróleo	=	159 litros
MJ	=	1 x 10 ⁶
GJ	=	1 x 10 ⁹

Contenido

Resumen ejecutivo | **6**

El calentamiento de agua residencial y su importancia
en el consumo energético de México | **8**

Tecnologías de calentamiento de agua para el sector residencial | **15**

El calentamiento solar de agua para el sector residencial:
una alternativa viable y probada | **17**

Experiencia internacional en el calentamiento solar de agua | **21**

Experiencia del calentamiento solar de agua en México | **24**

Logros y lecciones aprendidas de los programas de implementación
de calentadores solares de agua en México | **28**

Hacia un Programa de Calentadores Solares de Agua | **31**

Impactos a nivel familiar | **32**

Impactos a nivel nacional y regional | **34**

Conclusiones y recomendaciones | **39**

Anexo A | **44**

Anexo B | **48**

Listado de figuras | **51**

Listado de tablas | **52**

Referencias bibliográficas | **53**



Resumen ejecutivo

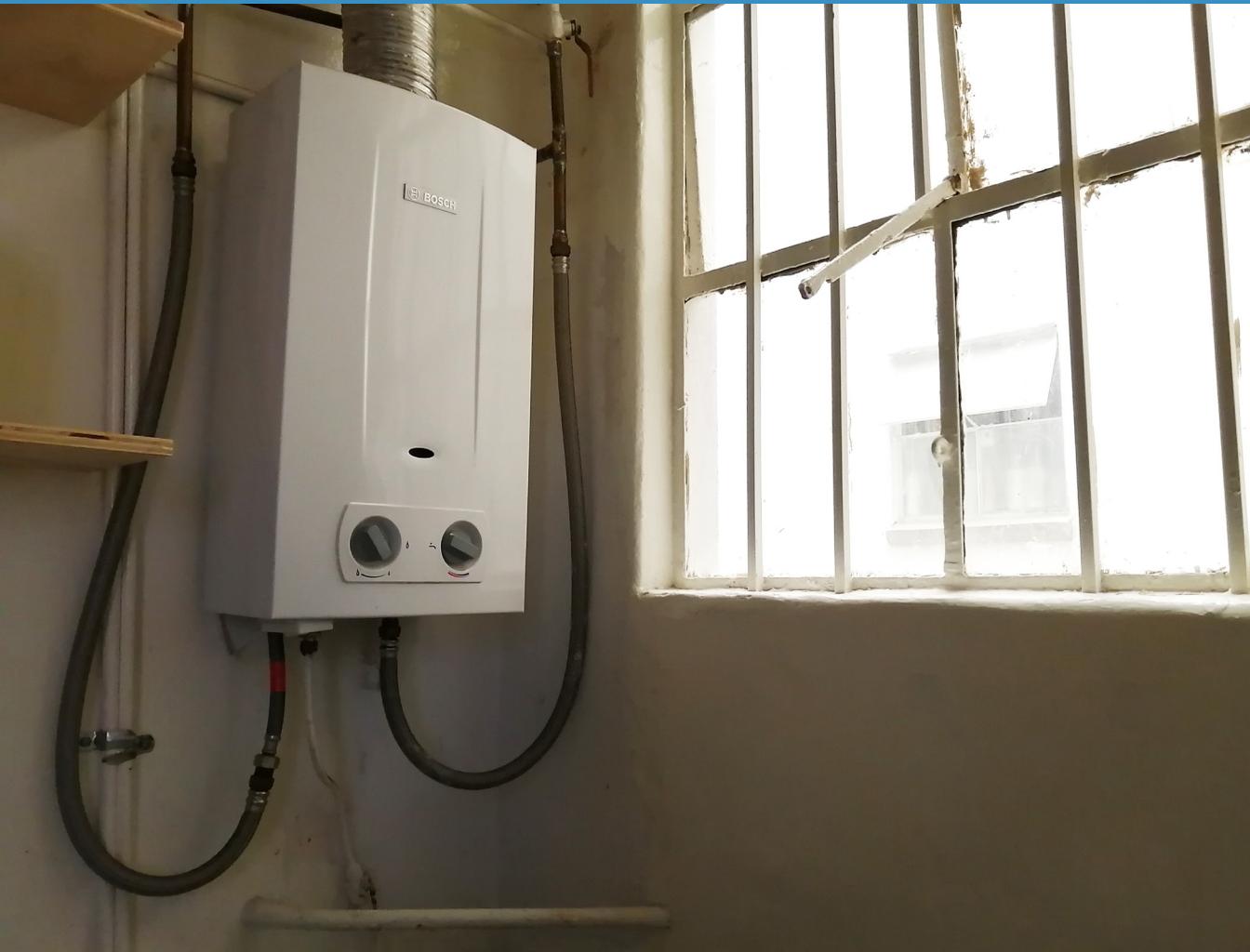
El calentamiento de agua es una necesidad básica y constituye el segundo uso final en términos de consumo de energía en los hogares de México, con un estimado de 119 PJ durante 2018 (Contreras *et al.*, 2022). En la mayoría de los casos, se realiza con gas licuado de petróleo (GLP), un combustible fósil del que no somos autosuficientes y que implica una derrama importante de divisas para el país. En 2021, se importaron en promedio 66.9 miles de barriles diarios de GLP, equivalentes a 1 292 millones de dólares (Sener, s.f.); su uso es el tercero con más emisiones de efecto invernadero, y aporta 15% en el sector residencial (7.31 MtonCO₂e).

De acuerdo con la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (Encevi, 2018), sólo 43.5% de las viviendas del país usa algún tipo de calentador de agua, lo que representa una carencia importante en la calidad de vida de los mexicanos. Este hecho contribuye a la situación de pobreza energética del país, que, de acuerdo con García-Ochoa, se define como la “situación que viven las personas, en su hogar, cuando se ven privadas de los equipos y bienes económicos que culturalmente se consideran básicos o necesarios, en un espacio y tiempo determinados, para contar con los servicios energéticos que satisfacen las necesidades humanas” (2023). Para resolver esta situación y para contribuir a garantizar tanto la soberanía energética del país como el bienestar de la población, una alternativa viable en términos ambientales y económicos es buscar una mayor participación de energías renovables en la matriz energética nacional, a través del

aprovechamiento del abundante recurso solar del país, con el uso de tecnologías maduras y confiables como los calentadores solares de agua (CSA).

En tal sentido, el presente documento muestra los beneficios económicos, sociales y ambientales que las familias mexicanas pueden obtener mediante la implementación de un programa de CSA. El estudio brinda una visión nacional y plantea a detalle un programa piloto de implementación de CSA en la Ciudad de México. Si se considera como promedio una familia de cuatro personas que utiliza un boiler de gas, los CSA podrían aportar ahorros de combustible a nivel familiar de más de 4 mil pesos anuales, con un tiempo de recuperación de inversión en la tecnología menor de cuatro años. Además, en dicho escenario se obtendría un beneficio ambiental por la reducción de más de 0.54 tCO₂ por año. En el país existe un potencial conservador para instalar y operar CSA en condiciones óptimas de alrededor de 14.1 millones de viviendas en la zona templada, 3.8 millones en la zona tropical y 2.8 millones en la zona cálida (Inegi, 2020). Con base en parámetros climáticos, poblacionales y de accesibilidad a las azoteas, entre otros, se estima que un primer programa piloto de promoción de CSA en la Ciudad de México podría beneficiar a 350 mil viviendas, lo que permitiría dejar de importar más de 818 mil barriles de GLP al año, con un ahorro aproximado de 52 millones de dólares y una reducción de 211 mil tCO₂. Esta iniciativa contribuye a los esfuerzos del Gobierno de México en materia de transición energética, ya que aprovecha las fuentes de energía renovable disponibles en el territorio —con la consiguiente disminución en el uso de combustibles fósiles importados—, fortalece la soberanía del país y reduce la pobreza energética.

El calentamiento de agua residencial y su importancia en el consumo energético de México





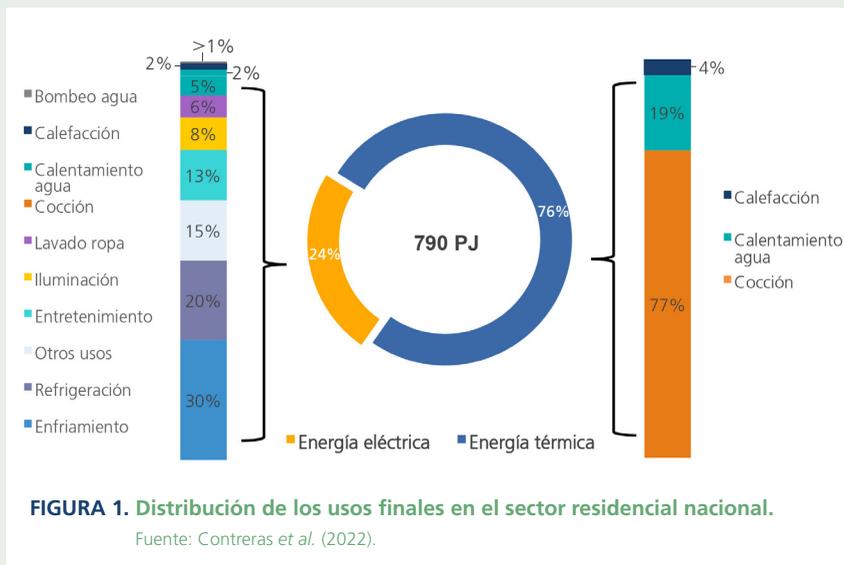
El calentamiento de agua residencial y su importancia en el consumo energético de México

Una de las grandes oportunidades para transitar hacia un modelo energético más confiable y sustentable en México es el aprovechamiento de energías renovables para generar calor. Sin embargo, tal como mencionan Ferrari y Masera (2020), una transición hacia sistemas energéticos sustentables basada en los recursos renovables locales debe partir de tres premisas:

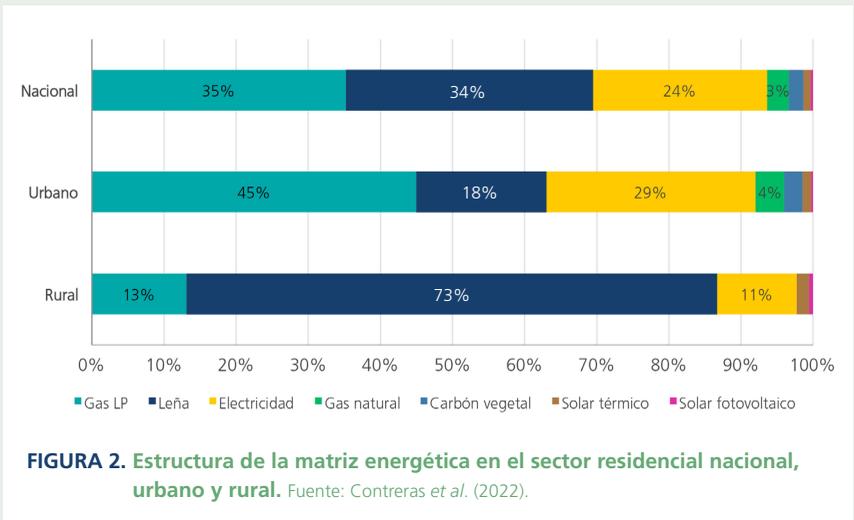
- a. Cambiar los patrones de consumo de energía mediante la reducción absoluta de los consumos en las áreas que presentan más dispendios.
- b. Asegurar el acceso a servicios energéticos para resolver las necesidades básicas de toda la población, comenzando por los grupos más marginados.
- c. Democratizar la producción de energía, de manera que los proyectos energéticos generen opciones de ingreso y empleo de calidad a nivel local.

De acuerdo con el análisis del consumo de energía del sector residencial por uso final realizado por Contreras y colaboradores (2022) a partir de la Encevi (2018), el consumo total del sector durante 2018 fue de 790 PJ, de los cuales 76% corresponde a energía térmica y 24% a energía eléctrica (figura 1). En cuanto a los usos finales de la energía térmica, el calentamiento de agua es el segundo uso final que más demanda energía en los hogares, después de la

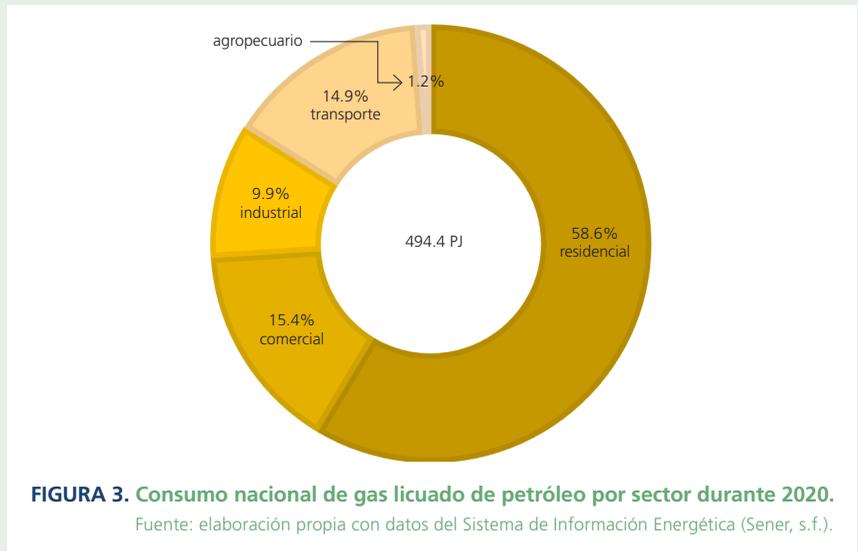
cocción de alimentos. Se estima que el calentamiento de agua requiere 119 PJ anuales y representa 15% (Encevi, 2018) del consumo energético para el sector residencial a nivel nacional.



Los dos principales combustibles en el sector residencial son el GLP —con 35% del consumo total— y la leña —con 34%—. Entre las localidades rurales y urbanas existen contrastes significativos en la estructura de la demanda de combustibles (figura 2): la principal fuente de energía en el ámbito rural es la leña, con un uso de 73%, mientras que en localidades urbanas el principal combustible es el GLP, con 45% (Contreras et al., 2022).



En el caso del GLP, su consumo a nivel nacional correspondió a 494.4 PJ, de los cuales 58.6% (289,5 PJ) lo demandó el sector residencial (figura 3).

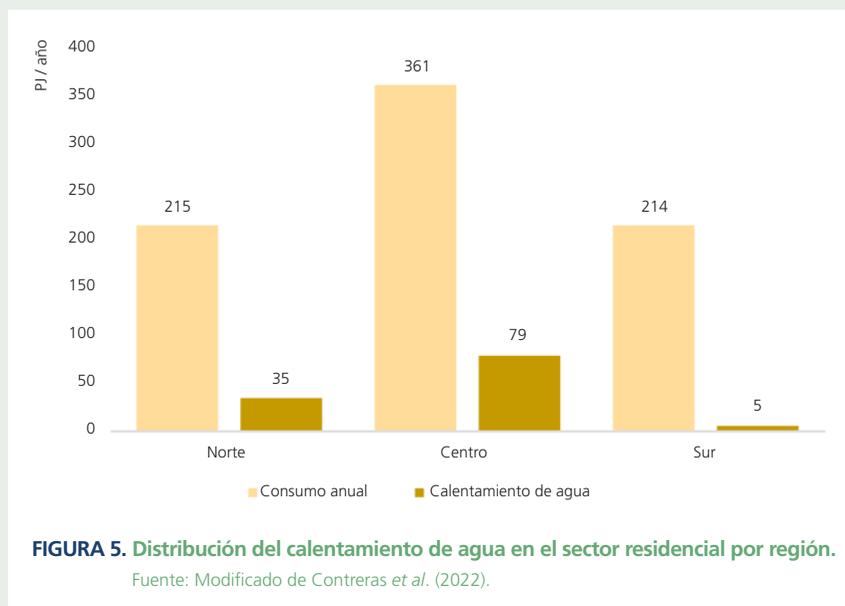


Los principales dispositivos utilizados para el calentamiento de agua en México, con diferencias significativas tanto a nivel nacional y regional como en los ámbitos urbano y rural, son: calentador de gas, calentador eléctrico —incluye calentador con depósito de gas de rápida recuperación y calentador de gas instantáneo de paso—, boiler de leña y calentador solar. De acuerdo con la Encevi (2018), 43.5% de las viviendas reportan usar algún tipo de calentador de agua, lo que equivale a un total de 14.6 millones de dispositivos; de ellos, sólo 2 millones son calentadores solares de agua (figura 4). La clasificación de regiones de la Encevi —de manera general— ofrece un panorama de la población que se encuentra en la región templada y que representa una oportunidad para la implementación de programas de calentadores solares.



En el contexto regional (figura 5), el uso final “calentamiento de agua” representa 16% de la energía consumida por año para el sector residencial en la región norte (35 PJ), 22% en la región centro (79 PJ) y sólo 2% en la región sur (5 PJ). En un país tan heterogéneo como el nuestro, los diferentes patrones de

consumo del calentamiento de agua a escala doméstica se deben a las necesidades específicas y a los factores que influyen en él, como la diferencia de clima por ubicación geográfica, las tecnologías empleadas y las fuentes de energía.



Si se analiza el valor de venta del GLP publicado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2022) a partir de que se liberaron los precios de venta al público, se observa que entre 2017 y 2021 hubo un alza en el comportamiento de los precios del combustible. Los precios promedio de 2017 corresponden a \$8.90 por litro y \$16.60 por kilogramo; para 2021, el promedio fue de \$14.60 el litro y \$27.21 el kilogramo, lo que corresponde a un incremento de 63.98%.¹

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) (Inegi, 2022), un hogar gasta en promedio \$690 pesos trimestrales en GLP. El incremento en los precios tiene un importante impacto en el bolsillo de las familias mexicanas, en especial para las de menores ingresos. El incremento en el costo de producción de los combustibles fósiles y su impacto

¹ Los precios considerados para el presente análisis son constantes para 2018.

ambiental harán cada vez más atractivo el uso de fuentes renovables para satisfacer las necesidades energéticas de nuestras viviendas.

En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero, de acuerdo con el análisis de Contreras y colaboradores (2022) se estimó que el sector residencial aportó entre 50 y 58 MtCO₂e durante 2018. Durante dicho año, los combustibles con mayores emisiones fueron la electricidad (58%) y el GLP (37%), seguidos del gas natural (3%), la leña (entre 2% y 19% dependiendo de su renovabilidad) y el carbón vegetal (>1%).

Los dispositivos como bóilers y estufas para el calentamiento de agua con GLP suelen ser fuentes de contaminantes precursores de ozono, debido a las fugas que ocurren durante su instalación (El Poder del Consumidor y Fundación Heinrich Böll, 2023). Asimismo, algunos estudios han identificado en la atmósfera cantidades importantes de propano y butano, las cuales se asocian con el uso de GLP (Sedema, 2016).

Respecto a las emisiones por usos finales, el calentamiento de agua fue el tercer uso final que generó más emisiones, con 15% para el sector residencial (7.31 MtCO₂e), precedido por la cocción (29%, 14.52 MtCO₂e), así como por el aire acondicionado y el enfriamiento de espacios (17%, 8.50 MtCO₂e) (Contreras *et al.*, 2022).

Tecnologías de calentamiento de agua para el sector residencial





Tecnologías de calentamiento de agua para el sector residencial

Las tecnologías para el calentamiento de agua se pueden clasificar en las que consumen gas, las que utilizan electricidad y los sistemas solares. Las primeras dos categorías son comunes en nuestro país, debido a que la inversión inicial es accesible, pero utilizan combustibles —gas o electricidad— que día a día se encuentran al alza, por lo que se vuelven inalcanzables para muchas familias del país; además, dependen de recursos no renovables como el GLP o el gas natural.

Los calentadores de gas se pueden clasificar en tres modelos principales (Ramos Niembro y Patiño Flores, 2006):

- **Calentadores de agua de almacenamiento o de depósito.** Cuentan con un tanque que contiene agua para calentarse. Esto significa que la capacidad del tanque determina cuánta agua caliente tiene disponible a la vez. Cada vez que ésta se extrae, se reemplaza por agua a temperatura ambiente, la cual vuelve a ser calentada. Son los más comunes en los hogares, pero también los más ineficientes.
- **Calentadores de agua instantáneos o de paso.** No necesitan almacenar agua; en lugar de tener un tanque de almacenamiento, cuentan con un serpentín a través del cual se calienta el agua a una temperatura uniforme cuando el usuario abre la llave de agua.
- **Calentadores de agua de rápida recuperación.** Son una combinación de los dos anteriores: disponen de un contenedor donde, a medida que sale el agua caliente, entra agua fría, la cual se calienta a través de uno o más intercambiadores de calor.

Por su parte, en el caso de los calentadores de agua eléctricos —aquellos que utilizan electricidad para producir agua caliente al momento— existen dos modelos: el de almacenamiento y el instantáneo.

Los calentadores solares de agua (CSA) aprovechan la energía solar mediante un proceso sencillo y accesible con tecnologías probadas en México y el mundo: colectores cubiertos —planos y de tubos evacuados— y colectores no cubiertos. Los CSA tienen un alto costo de inversión inicial en comparación con un sistema convencional de gas; sin embargo, cuando se incluyen los costos del combustible, las tecnologías de calentamiento de agua resultan más rentables que los calentadores que funcionan con gas o electricidad.

El calentamiento solar de agua para el sector residencial: una alternativa viable y probada

El recurso solar es el energético más abundante sobre la Tierra, además de ser limpio, inagotable y gratuito. Se trata de la energía que, en forma de radiación térmica procedente del Sol, llega a la superficie terrestre y se puede utilizar para un proceso energético.

México se encuentra entre los países con mayor potencial en materia solar (figura 6) debido a que tiene una ubicación geográfica privilegiada al encontrarse dentro de la llamada “franja solar” o “cinturón solar”. La mayor parte del territorio nacional posee una irradiación global diaria promedio de 5.5 kWh/m². Chihuahua, Sonora y Baja California son los estados que más energía solar perciben, con más de 6 kWh/m² al día (Solar Payback, 2018).

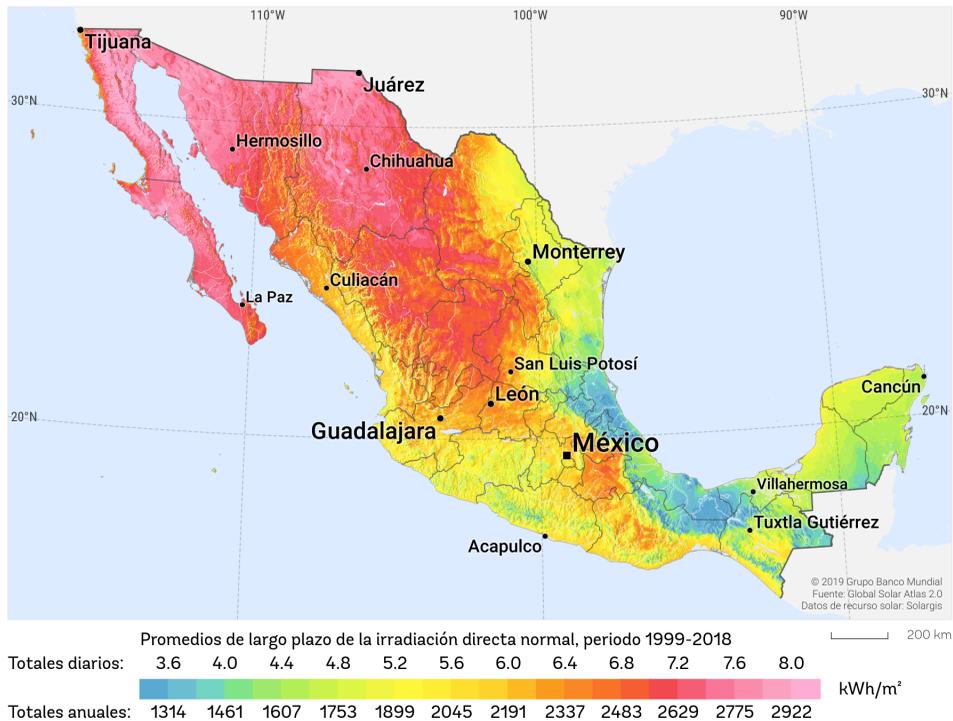


FIGURA 6. Irradiación global diaria promedio de México. Fuente: Banco Mundial (2017).

Existen tres formas de aprovechar la radiación que nos llega del Sol, las cuales difieren por tecnología y aplicación:

- **Energía solar térmica o termosolar.** Los procesos fototérmicos convierten en calor la mayor parte de la energía solar recibida por medio de colectores solares.
- **Energía solar fotovoltaica.** Se obtiene al convertir la luz solar en electricidad mediante una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico.
- **Energía solar pasiva.** Aprovecha de forma directa la luz del Sol sin convertirla en otro tipo de energía.

Las aplicaciones termosolares se clasifican en función de la temperatura a la que operan: baja, media o alta. Cada una implica el uso de diferentes tecnologías

y materiales (García Valladares y Pilatowsky Figueroa, 2017). Las aplicaciones de baja temperatura ($<100^{\circ}\text{C}$) pueden ser resueltas con colectores planos, sistemas autocontenidos y tubos tanto evacuados como descubiertos, los cuales suelen emplearse para el calentamiento de agua sanitaria y de albercas.

En el sector residencial, el sistema termosifónico es el más utilizado. Este sistema está integrado por un tanque de almacenamiento y un captador solar que consiste en una superficie que se expone a los rayos solares y absorbe la radiación visible para transformarla en radiación infrarroja —calor—, la cual es transportada mediante un fluido. El fenómeno de termosifón ocurre cuando la radiación que incide en el captador solar calienta el agua que circula en su interior, y —por diferencia de densidades— el agua caliente de la parte superior del captador fluye hacia el tanque de almacenamiento localizado por encima del captador, mientras que el agua con mayor densidad —agua fría— fluye por la parte inferior del tanque hacia la parte inferior del captador. El flujo convectivo o termosifónico continúa mientras el Sol calienta el colector, por lo que no se necesita una bomba para recircular el agua.

El CSA se instala en la azotea o techo de la vivienda para evitar obstrucciones que provoquen sombras a los colectores solares. Se debe orientar hacia el sur geográfico, con una inclinación igual a la latitud del lugar $+ 10^{\circ}$, para lograr la mayor ganancia de energía a lo largo del año (Conuee, 2014). Existen diferentes tecnologías de calentadores solares de agua:

- a. **Colectores planos** (figura 7a). Cuentan con una superficie plana a la que se adhiere una serie de tubos o un enrejado, por los que circula un fluido que se calienta a su paso por el panel. Estos pueden ser captadores cubiertos —utilizan cubiertas transparentes y están contenidos en una caja con material aislante para evitar las pérdidas de calor— o no cubiertos —sistemas que se utilizan sobre todo para el calentamiento de agua en albercas—. Las cubiertas pueden consistir en una o más capas de vidrio o de algún material transparente para permitir el paso de los rayos solares. La superficie que absorbe la radiación puede ser de color negro mate o alguna superficie selectiva que permita una mayor absorción solar con baja emitancia térmica, lo que ocasionará menores pérdidas de calor.
- b. **Colectores de tubos** (figura 7b). Utilizan como colector solar un arreglo de dos tubos concéntricos de cristal con vacío entre ambos. Existen dos tipos: 1) los sistemas de flujo directo, que están formados por

una serie de tubos de vidrio al vacío por la cual circula el agua, que, al calentarse, se almacena en un termotanque —sólo pueden operar con tinaco—, y 2) los sistemas de flujo indirecto o con caloriducto (*heat pipe*), que están formados por una serie de tubos al vacío, en cuyo interior se aloja una tubería metálica que se calienta y transfiere el calor al agua que se encuentra en el termotanque.



FIGURA 7. Tecnologías para el calentamiento de agua en el sector residencial.

Fuente: García Valladares (2017).

- c. **Sistemas autocontenidos** (figura 8). Son una buena opción para que las comunidades rurales obtengan agua caliente a bajo costo. En un sistema autocontenido, se conjugan las funciones de colector y termotanque, por lo que son utilizados en las regiones cálidas. Consisten en un recipiente —uno grande o varios pequeños—, de tal forma que el recipiente se llena con agua y éste se calienta directamente por la cara expuesta al sol. El área expuesta al sol se pinta de negro o con alguna superficie selectiva, mientras que los costados y el fondo se aíslan térmicamente para evitar pérdidas de calor. La eficiencia térmica en este tipo de sistemas es relativamente alta en el periodo diurno, pero cae de manera drástica en el periodo nocturno, por lo que el agua caliente debe utilizarse durante el mismo día.



FIGURA 8. Sistemas autocontenidos. Fuente: García Valladares (2017).

Los sistemas solares pueden o no tener un sistema de respaldo —como un calentador de gas o eléctrico—. Por lo general, en climas donde se tiene una radiación solar favorable todo el año, basta con el uso de los CSA para satisfacer las necesidades de agua caliente. En cuanto a los sistemas de respaldo, en caso de ser requeridos, es importante que sean eficientes, con mantenimientos periódicos, ya que garantizan un mayor ahorro del combustible. Estos sistemas se recomiendan cuando se presentan varios días nublados o cuando la demanda del agua caliente es más alta de lo normal.

Experiencia internacional en el calentamiento solar de agua

En la actualidad, existen diversas tecnologías para el calentamiento de agua, diseñadas para asegurar un aprovechamiento eficiente de la energía solar. A nivel internacional, diversos programas de apoyo las están impulsando con el objetivo de fomentar el ahorro energético, brindar mayor seguridad al usuario, así como generar beneficios sociales, económicos y ambientales para mejorar la calidad de vida de la población.

En los últimos años, diferentes países han tomado medidas para acelerar el despliegue de los CSA. En 2020, la superficie a nivel mundial de CSA y calentadores solares de aire en operación fue de más de 714 millones de m² (SHW, 2022), distribuidos de la siguiente manera (figura 9):

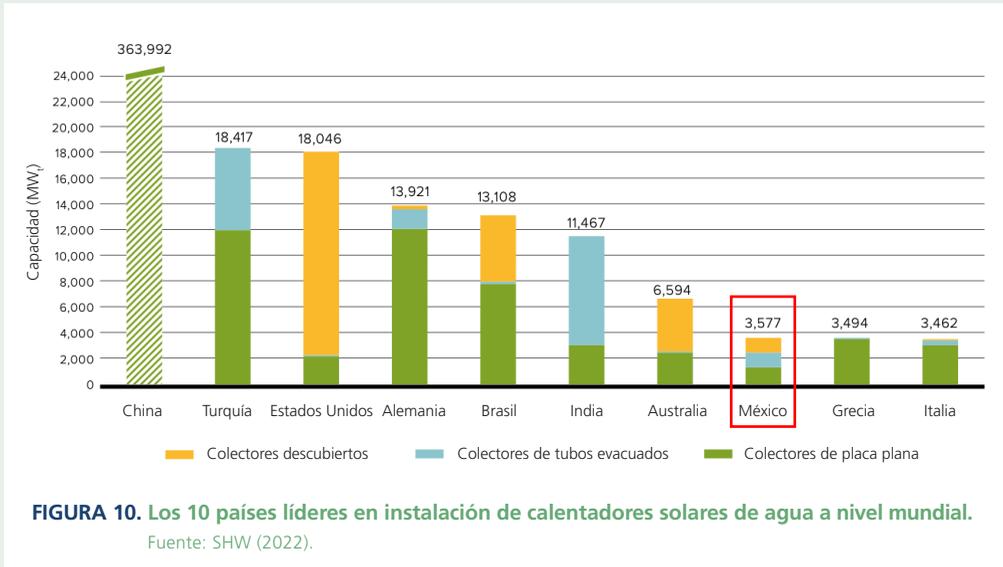
- Captadores de tubos evacuados: 344.3 GW_t^2 (491.9 millones de m^2).
- Captadores de placa plana: 124.2 GW_t (177.4 millones de m^2).
- Captadores planos descubiertos: 30.7 GW_t (43.9 millones de m^2).
- Captadores para calentamiento de aire: 1 GW_t (1.4 millones de m^2).



En 2021 a nivel mundial, se instaló una capacidad total de 21 GW_t o 31 millones de m^2 , por lo que la capacidad termosolar en funcionamiento a finales de 2021 era de 522 GW_t , correspondiente a 746 millones de m^2 de área de captación. Esto representó un aumento de 3% en comparación con el año anterior. De acuerdo con el reporte de Solar Heat Worldwide (SHW, 2022), el rendimiento anual de energía solar térmica en 2021 corresponde a un ahorro de 45.7 millones de toneladas de petróleo (1913.36 PJ) y 147.5 millones de toneladas de CO_2 , lo que demuestra la magnitud de los beneficios del uso de la energía solar térmica.

² Gigawatt térmico (GW_t), se refiere a la capacidad (potencia) térmica instalada.

México sigue siendo un país que experimenta un crecimiento en relación a los CSA. En 2020 se convirtió en uno de los 10 países líderes en el mercado de calentadores solares de agua, si bien China es el mayor impulsor de dicha tecnología —tanto en la fabricación de componentes como en su uso y demanda—. En la figura 10, se muestra la capacidad instalada de CSA acumulada a nivel mundial hasta el año 2020.



En América Latina, la distribución por tipo de colector solar térmico en operación, a finales de 2020, representó 55% para los colectores de placa plana, 35% para los colectores descubiertos y 8% para los tubos evacuados (figura 11). Los colectores descubiertos son los que se utilizan para el calentamiento de albercas; sin embargo, no hablaremos de ellos en el presente documento.

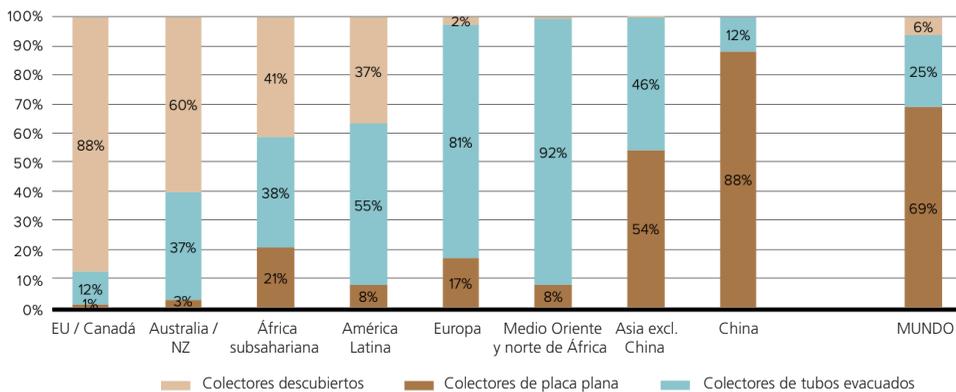


FIGURA 11. Capacidad instalada por tipo de tecnología. Fuente: SHW (2022).

Experiencia del calentamiento solar de agua en México

En México, la energía solar térmica se ha aprovechado desde hace varias décadas con un crecimiento moderado. En 2017, el país ocupó el segundo lugar en América Latina —después de Brasil—, con una superficie total instalada de 3.7 millones de m² de colectores solares térmicos, distribuidos en diferentes sectores, como el residencial, el comercial y el industrial (Solar Payback, 2018).

La instalación total de colectores solares en México ha incrementado en la última década. Según el reporte de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES, 2020), en el que contribuyó Fabricantes Mexicanos en las Energías Renovables (Famerac), destacan los siguientes datos para ejemplificar dicho incremento: en primer lugar, mientras que en 2010 se instalaron 233 mil m², en 2020 se instalaron 380 mil m²; en segundo lugar, la industria nacional alcanzó un máximo de 411 mil m² instalados en 2019. Con base en las mismas fuentes, la figura 12 representa la instalación de las diferentes tecnologías de colectores solares instaladas en México en el periodo 2010-2020, tales como colectores planos, tubos evacuados o colectores desnudos, entre otros. Es importante señalar que el aumento de la superficie instalada de sistemas solares térmicos en el sector residencial se debió a los diferentes programas de promoción que se implementaron en la materia.

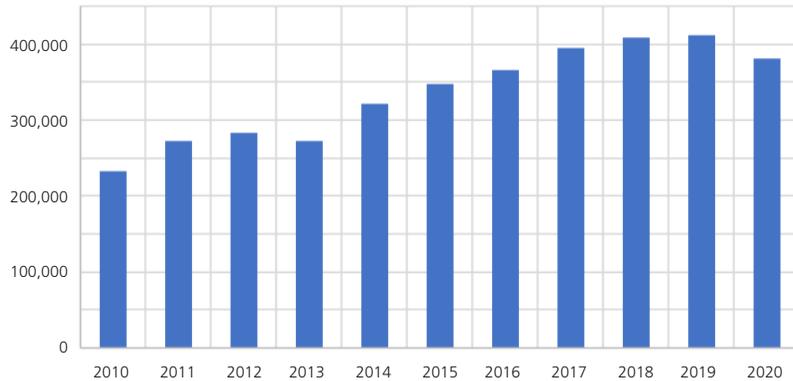


FIGURA 12. Superficie total de colectores solares instalados en México por año (m²).

Fuente: ANES (2020).

Los datos reportados por ANES y Famerac muestran que, durante la última década, más de 50% de los colectores solares se instalaron en casas habitación (figura 13). En 2019 se presentó el máximo de metros cuadrados instalados, ya que la industria nacional pudo instalar 221 mil m² en viviendas del país. Este dato se puede considerar como una referencia de capacidad actual máxima de instalación en viviendas durante un año.

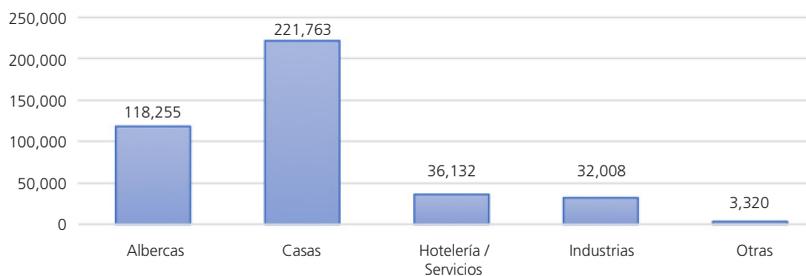


FIGURA 13. Instalación de colectores solares por uso final en 2019 (m²).

Fuente: ANES (2020).

Asimismo, a través de varios años se ha avanzado en desarrollar políticas, programas y acciones de ahorro y uso eficiente de la energía, los cuales han buscado potenciar el uso de las tecnologías eficientes que utilicen energías renovables, para disminuir el consumo de combustibles fósiles (véase “Anexo A”). Destacan: Programa de Calentadores Solares de Agua (Procalsol) (Conae, 2007 y 2011); Hipoteca Verde; Iniciativa para la Transformación y el Fortalecimiento del Mercado de Calentamiento Solar de Agua en México (La Iniciativa, 2017); Proyecto 25,000 Techos Solares para México; Programa Ambiental y de Cambio Climático para la Ciudad de México 2019-2024; y el Programa de Vivienda de la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi), Mejoramiento Integral Sustentable en Vivienda Existente (Fide, 2022).

Es preciso mencionar que, como resultado de los diversos programas, se han desarrollado regulaciones que permiten asegurar a los usuarios una adecuada calidad en los sistemas y sus instalaciones. Como ejemplos, en la figura 14 se mencionan dos Normas Mexicanas (NMX) —de carácter voluntario—, un Dictamen Técnico de Energía Solar Térmica en Vivienda (DTESTV) y una Norma Oficial Mexicana (NOM), la cual no se aplica en la actualidad a todos los equipos termosifónicos que se comercializan en México por la presión de operación a la que deben ser sometidos los calentadores de agua para comprobar que sus componentes sean seguros durante su uso.

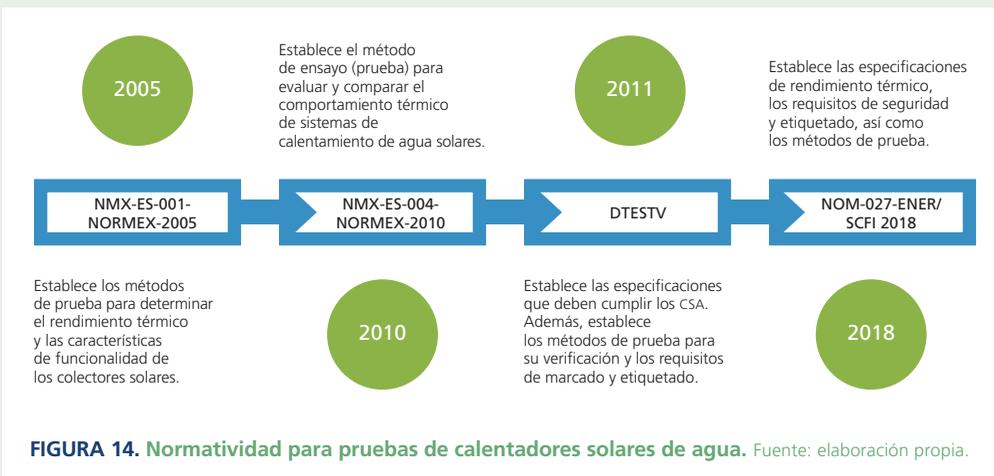


FIGURA 14. Normatividad para pruebas de calentadores solares de agua. Fuente: elaboración propia.

Al mismo tiempo, el trabajo de asociaciones civiles orientadas a la difusión e impulso de la industria solar en México ha sido clave para reunir a diversos actores de la industria. Éste es el caso de la Asociación Mexicana de Energía Solar (Asolmex), la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la Asociación de Fabricantes Mexicanos en las Energías Renovables (Famerac) y la Sociedad de Tecnología Solar Avanzada de Tubos Evacuados (Sotecsol), entre otras. Las dos últimas asociaciones reúnen a 28 empresas reconocidas de fabricantes nacionales e importadores de tecnologías para el aprovechamiento y uso de CSA; las otras asociaciones incluyen también a empresas que promueven la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica.

Logros y lecciones aprendidas de los programas de implementación de calentadores solares de agua en México

Programas como el Procalsol o La Iniciativa surgieron y fueron desarrollados bajo políticas públicas que impulsaron el aprovechamiento de energías renovables y tecnologías limpias, así como el trabajo conjunto entre diferentes actores. Entre las lecciones aprendidas se encuentran el desarrollo de normas, la generación de capacidades en la cadena de valor, la realización de actividades de difusión en coordinación con múltiples actores para obtener un mayor impacto, la certeza técnica en el diseño de los mecanismos financieros, la creación de redes de colaboración, la necesidad de contar con laboratorios de prueba de CSA y la importancia de la certificación de los instaladores.

En relación a las características y especificaciones de calidad y desempeño de los equipos, surgieron acreditaciones a través de un organismo nacional de normalización y certificación.

Asimismo, se identificaron áreas de oportunidad en la instalación y dimensionamiento de los sistemas solares térmicos. En 2008, la Agencia Alemana para la Cooperación Técnica promovió el desarrollo de una norma técnica que estableciera los requisitos mínimos indispensables para la correcta instalación de calentadores solares de agua en las viviendas, a través de estándares técnicos de instalación. En específico, se aprobaron las siguientes iniciativas:

- **NUSIM005.01:** “Instalación del sistema de calentamiento solar de agua”. Se publicó en 2009. Fue la primera Norma Técnica de Competencia Laboral.
- **ECO325:** “Instalación de sistema de calentamiento solar de agua termosifónico en vivienda sustentable”. Se publicó en 2013. Este Estándar de Competencia Laboral buscó subsanar las deficiencias del programa Hipoteca Verde del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit), en la instalación de calentadores solares de agua.
- **ECO473:** “Instalación del sistema de calentamiento solar de agua de circulación forzada con termostanque”.

En 2014 se logró incluir en la encuesta Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) una pregunta sobre CSA en el módulo Condiciones Socioeconómicas 2014. Esto representa un avance, pues permite generar información pública sobre el mercado de CSA, así como conocer su evolución.

En 2018, la NOM-027-ENER/SCFI-2018 fue publicada en el *Diario Oficial de la Federación* (NOM, 2018), con el objetivo de establecer las especificaciones de rendimiento térmico de los CSA para uso doméstico y comercial, tipo termosifón.

Con la implementación de cada programa se ha logrado avanzar en el sector vivienda de forma principal. Se detectó también que para el buen desempeño de los programas es clave la participación activa y el compromiso de organismos gubernamentales, asociaciones civiles, sector privado, académico y personas interesadas en el impulso del calentamiento solar de agua.

Por desgracia, a pesar de los logros obtenidos, programas como el Pro-calsol no se han mantenido a lo largo del tiempo. Otros, como el programa Hipoteca Verde, no han logrado ser implementados en una escala masiva. Una de las principales causas ha sido la falta de financiamiento y seguimiento por parte de las instituciones gubernamentales.

Para desarrollar programas de CSA exitosos, La Iniciativa (2017) propone las siguientes acciones clave —aún vigentes— en términos de política pública, financieros y técnicos:

De política pública

- Seguir buscando sinergias entre los diversos actores a través de un proceso incluyente y participativo. Con el objetivo de fomentar el aprovechamiento de la energía térmica en el país, esto supone mejorar la coordinación entre los sectores gubernamental, académico, privado y público, instituciones de normalización, laboratorios de prueba, fabricantes, comercializadores y técnicos de instalación, entre otros.
- Diseñar un programa nacional con una serie de medidas de sensibilización, normalización, calidad de la tecnología e incentivos.
- Implementar campañas para la difusión y concientización, con estrategias específicas para definir objetivos claros, que consideren el tipo de público al que vayan dirigidas. Esto implica tomar decisiones

en términos de lenguaje, material informativo que demuestre los beneficios cualitativos y cuantitativos del uso de los CSA, así como en la difusión de las experiencias y resultados reales de dependencias y organizaciones que han implementado el uso de la tecnología, por mencionar algunos ejemplos.

Financieros

- Promover esquemas innovadores de adquisición de CSA a partir de financiamientos accesibles, para garantizar su adopción en el mediano y largo plazo. Los ahorros generados por la propia tecnología son un excelente incentivo para la creación de mecanismos financieros accesibles y sostenibles.
- Monitorear el mercado, intercambiar lecciones aprendidas y crear redes de información.

Técnicos

- Desarrollar capacidades técnicas y de formación de recursos humanos, ya que la calidad en la instalación de un sistema es tan importante como la de la tecnología. Con el propósito de evitar fallas originadas por defectos en la instalación, será necesario unificar los criterios de instalación a través de certificaciones y estándares de competencia.
- Estandarizar las mediciones y las pruebas de equipos de CSA mediante la normalización, certificación y colaboración entre laboratorios.

Hacia un Programa de Calentadores Solares de Agua





Hacia un Programa de Calentadores Solares de Agua

Impactos a nivel familiar

Para diseñar un Programa Nacional de Calentadores Solares de Agua, un primer paso consiste en estimar los impactos —energéticos, ambientales y económicos— a nivel familiar que tendría la instalación de un CSA estándar, con base en las tres regiones climáticas básicas del país: cálida, templada y tropical (Inegi, 2018).

Para cada clima, se consideraron una familia de 4 habitantes —promedio de ocupantes por vivienda, según el censo de 2020—, un consumo de 40 litros por persona (NADF, 2006) y una temperatura requerida de 45 °C. En esta simulación, se considera que las viviendas cuentan con un boiler de GLP con una eficiencia de 74% (NMX, 2010), un sistema con la capacidad mínima del termostanque de 150 litros (NOM, 2018), un área de captación de 1.8 m² y un precio total del proyecto de \$17 400 pesos, por ser el tipo de sistema e instalación más común en el mercado.

Con base en estos supuestos, se realizó una simulación utilizando el Software para el cálculo del ahorro de gas, emisiones de CO₂ evitadas, factor solar y tasa de recuperación de la inversión de sistemas solares térmicos (García Valladares, 2017), el cual considera los datos climatológicos del lugar y las curvas de caracterización del funcionamiento diurno y nocturno del sistema. Los datos de cada sistema deben proporcionarse, y se obtienen de acuerdo con lo especificado en el capítulo 7 de la norma mexicana NMX-ES-004-NORMEX-2010

(NMX, 2010), que establece el método de prueba para evaluar y comparar el comportamiento térmico de sistemas de CSA, en mayor medida para uso doméstico (véase “Anexo B”).

Con las curvas características del sistema y los datos climatológicos del lugar,

el *software* calcula día por día del año la energía obtenida por el sistema solar, contra la energía requerida por el usuario, con esto se obtiene mes por mes la contribución del sistema solar en la energía, requerida por el usuario y a su vez, el ahorro de combustible obtenido, las emisiones de CO₂ evitadas a la atmósfera, el tiempo de recuperación de la inversión, la tasa interna de retorno y el valor presente neto (García Valladares, 2017).

En la tabla 1 se presentan los resultados para cada uno de los tres climas.

TABLA 1. Impactos a nivel familiar utilizando sistemas solares en las tres regiones climáticas del país

Análisis financiero y ambiental	Cálido	Templado	Tropical
Consumo anual requerido de energía (MJ)	5425	7852	4523
Energía anual entregada por el sistema (MJ)	4424	5218	4020
Consumo de gas sin sistema solar (kg/año)	163	303	129
Ahorro anual de gas debido al solar (kg)	133	201	114
Ahorro anual promedio de combustible (MN)	\$3271	\$4944	\$2804
Contribución o factor solar anual promedio (%)	81	66	88
Tiempo de recuperación de la inversión (meses)	47	33	53
Rentabilidad o ahorro neto a 10 años (MN)	\$32718	\$49446	\$28044
Emisiones de CO ₂ evitada en 10 años (tCO ₂)	4	6	3
TIR a 10 años (%)	27	40	22

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, el requerimiento anual de energía térmica para el calentamiento de agua varía en cada clima. El clima templado tiene la mayor demanda, lo que se traduce en un mayor ahorro económico y un mayor beneficio ambiental al usar un sistema solar para cubrir las necesidades de agua caliente. En las regiones cálida y tropical no es necesario un sistema tan eficiente como el que se requiere para un clima templado. En las regiones cálida y tropical, la contribución de la energía solar o factor solar está por arriba de 80%, y el tiempo de recuperación de la inversión está por encima de los 47 meses. Gracias a que en el presente existe una amplia oferta de sistemas y costos, sería recomendable instalar un sistema adecuado para cada región a fin de disminuir el tiempo de recuperación de la inversión. El ahorro anual de gas dependerá del tamaño y rendimiento del CSA que se elija para cubrir las necesidades de cada vivienda.

Impactos a nivel nacional y regional

Con el fin de conocer el potencial técnico inicial de un Programa Nacional de Calentadores Solares de Agua, se realizó un análisis de información actualizada de los 35 millones de viviendas en el país, donde residen 126 millones de habitantes. Se consideraron aspectos técnicos necesarios para la instalación y operación óptimas de los sistemas de este tipo, tales como techo de losa en la vivienda, casa propia, tinaco en la azotea y disponibilidad de agua entubada. Con estos criterios, se tiene un potencial técnico de 14.1 millones de viviendas en la zona templada, 3.8 millones en la zona tropical y 2.8 millones en la zona cálida.³

Si consideramos estos datos para implementar un programa de CSA, se generarían ahorros de gas, reducciones de CO₂, y dejaría de ser necesario importar millones de barriles de GLP al año, como se muestra en la tabla 2.

³ Si alguna de estas restricciones no se aplica de manera rigurosa, como pasa por ejemplo en zonas rurales, donde numerosas viviendas que no cuentan con techos de losa adaptan bases para sostener a los CSA, el potencial de viviendas en las que se pueden instalar estos equipos sería mucho mayor (estimaciones propias con datos del Inegi, 2020).

TABLA 2. Impactos a nivel nacional utilizando sistemas solares en las tres regiones climáticas del país

Tipo de Región	Viviendas consideradas (millones)	Ahorro de gas/año (millones de toneladas)	Barriles anuales de GLP sin importar (millones)	Emisiones de CO ₂ evitadas al año (MtCO ₂)
Zona templada	14.1	2.8	32.9	8.5
Zona tropical	3.8	0.4	5.9	1.1
Zona cálida	2.8	0.3	4.4	1.1

Fuente: elaboración propia.

Si nos centramos en la región templada y con el objetivo de visualizar y estimar los impactos esperados de un Programa de CSA, se presenta a continuación una propuesta de Programa Piloto de Calentadores Solares de Agua para la Zona Oriente de la Ciudad de México (CDMX).

Se analizaron diferentes fuentes de información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). En cuanto al alcance técnico del programa, se consideraron aspectos necesarios para poder instalar y operar un calentador solar de agua (CSA), tales como tipo de vivienda —particular—, disponibilidad de agua y las que podrían tener ya un respaldo, entre otros.

Como resultado del análisis de la información del censo de 2020 (Inegi, 2020), el primer criterio de selección por tipo de vivienda arroja que en la CDMX existen 2 757 433 viviendas habitadas —particulares y colectivas—, así como 9 206 306 habitantes. Por definición del propio programa, el objeto de estudio se centra en la vivienda particular habitada, para la cual se tienen registradas 2 756 319 de ellas.

El siguiente criterio de selección, hace referencia a una característica de construcción de la vivienda que la hace factible para la posible instalación de un sistema de CSA. Las viviendas deben tener techo de losa de concreto o vigueta con bovedilla, clasificada así en el cuestionario ampliado del Inegi. Considerando sólo esta categoría, en la CDMX 2 563 344 viviendas cumplen con esta característica.

Por dimensionamiento del propio programa y con respecto a la disponibilidad de agua en la vivienda para servicios básicos —como cocinar y bañarse—, se analizó el equipamiento de aquellas viviendas que cuentan o no con regadera, calentador de agua y calentador solar de agua. Al considerar que la vivienda cuente con al menos una regadera dentro de la misma, el número de viviendas se redujo a 2 284 175.

En ese orden, se buscaron las viviendas que cuentan ya con un bóiler o calentador de agua como parte del equipamiento, y se contabilizaron 2 177 085. Con este número se pueden determinar las viviendas que hoy en día ya cuentan con el servicio de agua caliente sanitaria bajo los criterios hasta aquí establecidos; este punto es la referencia para dimensionar un tamaño promedio del equipo de CSA para que sea suficiente en tamaño. Así, se obtiene que el equipo de CSA y su termostanque podrían tener una capacidad que abastezca hasta a cuatro personas por vivienda.

Aplicando el criterio de exclusión donde las viviendas ya cuentan con un sistema de CSA, de las cuales existen 158 803, y considerando los criterios anteriores, existe un potencial máximo de 2 050 385 viviendas que podrían acceder a la instalación de la tecnología y contar a su vez con el equipo de respaldo actual para los días nublados por año que no podrían ser cubiertos sólo por el sistema de calentadores solares de agua.

Considerando la posibilidad de comenzar un programa piloto concentrado en la zona oriente de la CDMX, la muestra se reduce a siete alcaldías: Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Así, el número máximo de cobertura del programa se concentraría en 927 747 viviendas, por lo que podrían beneficiarse 3 252 182 personas.

La presencia del propietario de la vivienda es un criterio importante en la ejecución de cualquier programa de eficiencia energética. Por ello, si se analiza la tenencia de las viviendas y se consideran sólo aquellas donde la persona que es dueña o propietaria vive ahí y puede tomar decisiones sobre el inmueble, el potencial máximo se reduce a 551 619 viviendas y 2 010 795 personas beneficiadas sólo para la zona oriente de la Ciudad de México.

Por último, si se toman en consideración todos los criterios anteriores, el potencial técnico de viviendas candidatas al programa piloto de CSA podría alcanzar a 345 575 viviendas de la zona oriente de la Ciudad de México (figura 15).

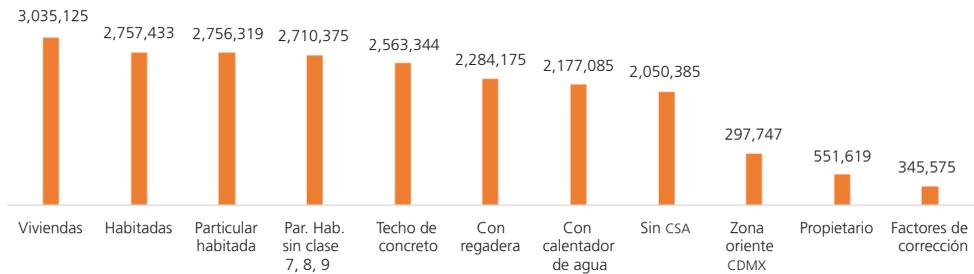


FIGURA 15. Desagregación de la información para estimar el potencial de calentadores solares de agua en la Ciudad de México. Fuente: elaboración propia del Mtro. Juan Ignacio Navarrete Barbosa.

Un aspecto importante para impulsar un programa de CSA es el financiamiento de la tecnología, por lo que se desarrolló un análisis considerando las erogaciones que el Gobierno federal —a través de Petróleos Mexicanos (Pemex)— pagó por importar GLP durante 2021 para abastecer el mercado interno. De esta forma, se tomó en cuenta la proporción del consumo de GLP destinado al calentamiento de agua sanitaria en las viviendas que podría ser sustituida por la instalación de calentadores solares de agua.

Se estima que en 2021 la demanda nacional de GLP fue, en promedio, de 275 mil barriles diarios (mbd), y las ventas en el sector residencial representaron 57.5% del consumo nacional, seguido de los sectores comercial (15.1%) y transporte (14.6%), entre otros. El sector residencial en la última década ha representado 59% del consumo nacional de GLP, alcanzando 158 mbd en el último año.

Por otro lado, el volumen de GLP importado contabilizó 181 mbd durante 2021, lo que significa que un aproximado de dos de cada tres barriles de GLP que se consumen en el país provienen de importaciones. Este hecho hace vulnerable al país en cuanto a la seguridad del suministro del combustible, dada la alta dependencia de mercados externos, lo que a su vez ocasiona una mayor vulnerabilidad frente a la volatilidad de precios que experimentan los mercados de referencia.

Hasta 2015 todas las importaciones de GLP eran realizadas por Pemex. Sin embargo, con la reforma energética se abrieron las importaciones comerciales al sector privado y se generó competencia en la distribución. A partir de entonces, Pemex importa sólo una fracción, la cual representó 36.9% del total del combustible importado en 2021. La importación de GLP de Pemex alcanzó 66.9 mbd en 2021, y ha sido la más alta que Pemex ha realizado desde 2016. Dada el alza de precios en los mercados de referencia, Pemex incurrió en un costo de 1292 millones de dólares para realizar las importaciones de GLP y destinarlas al suministro del mercado interno (Sener, s.f.).

Si consideramos que un programa de calentadores solares pudiera beneficiar a 350 mil viviendas y si tomamos como referencia el volumen —y el costo— de las importaciones que Pemex realizó en 2021, así como el ahorro de gas debido al uso de los CSA, habría impactos inmediatos. Esto significa que se dejarían de importar más de 818 mil barriles al año de GLP, con un ahorro aproximado de 52 millones de dólares.

Por otro lado, como se mencionó en páginas anteriores, la industria mostró una máxima capacidad de instalación durante 2019, cuando instaló 221763 m² de colectores solares en un año, sólo en viviendas. En términos de sistemas equivalentes a 1.8 m², la industria estaría en condiciones de instalar 121182 calentadores solares de agua.

Si consideramos las capacidades de la industria mexicana, y si sólo tomamos en cuenta un programa de 120 mil CSA, con un costo de 120 millones de dólares⁴ —lo que representaría obtener un ahorro de 24 120 toneladas de gas/año y una reducción de 72 480 tCO₂—, se dejarían de importar 280 mil barriles al año de GLP, con un ahorro aproximado de 18 millones de dólares al año. Es decir, el costo del programa representa aproximadamente sólo 9% de las importaciones que Pemex requirió para abastecer las necesidades de gas en 2021, lo que se podría destinar a programas de este tipo, con beneficios sociales, económicos, ambientales.

⁴ Precio del dólar estimado en \$17.00 MXN.

Conclusiones y recomendaciones





Conclusiones y recomendaciones

Los CSA son una alternativa costoefectiva para reducir la pobreza energética, al brindar a las familias mexicanas acceso a energía limpia para el calentamiento de agua. Tal como lo especifican Tagle y Álvarez (2019): “los calentadores solares de agua han mostrado la cualidad de incorporarse con facilidad a la dinámica social por la poca atención que demandan, su impacto ambiental positivo y los beneficios socioeconómicos que otorgan”.

Los CSA tienen la capacidad de disminuir el consumo de combustibles fósiles e incrementar la capacidad del país para satisfacer las necesidades de energía sin depender del exterior, con lo cual se impulsaría al mismo tiempo una transición energética justa y sustentable. Los CSA ofrecen no sólo ahorros económicos, sino también ambientales por la disminución de emisiones de CO₂; además, con su implementación se conseguirían mejoras en la salud y se crearían empleos, entre otros beneficios sociales y económicos.

Para que México logre cumplir el objetivo de facilitar el acceso a una energía asequible, segura y sostenible, en congruencia con las metas y objetivos de la Agenda 2030, se requiere la implementación de una política pública robusta y generalizada en torno al aprovechamiento de energías renovables, incluyendo la adopción de CSA (El Poder del Consumidor y Fundación Heinrich Böll, 2023).

Una instalación solar estándar para cuatro personas, de uso doméstico, en promedio puede reducir entre 60 y 80% del consumo de combustibles fósiles, lo que se reflejaría en el ahorro de más de 4 mil pesos anuales para cada uno de los hogares.

El retorno de inversión de los sistemas solares en general es menor de cuatro años; sin embargo, estos sistemas garantizan como mínimo una vida útil de 15 años, por lo que, se tendrían beneficios netos de más de 11 años.

El análisis de un Programa Nacional de Calentadores Solares de Agua indica que existe un potencial técnico inicial y conservador de 14.1 millones de viviendas en la zona templada, 3.8 millones en la zona tropical y 2.8 millones en la zona cálida. Conforme a los resultados de la tabla 2, se generarían ahorros totales de 3.8 millones de toneladas de gas al año, con una reducción de 10 MtCO₂, lo que ayudaría a dejar de importar 42 millones de barriles al año de GLP, con un ahorro aproximado de 2 744 millones de dólares para el país.

De acuerdo con el análisis a nivel familiar en las tres regiones del país, satisfacer la demanda anual de energía para calentamiento de agua requiere entre 4 y 7 GJ, para lo que se necesitan entre 129 y 303 kg de GLP. No obstante, al considerar un sistema solar, éste podría aportar en promedio entre 66 y 88% de la energía, con un ahorro de combustibles de más de 4 mil pesos. El tiempo de recuperación de la inversión está entre los 33 y los 53 meses; las emisiones de CO₂ evitadas en 10 años serían de más de 3 toneladas por familia.

Considerando un programa inicial piloto de 120 mil CSA en la CDMX, se generaría un ahorro de 24 120 toneladas de gas al año, con una reducción de 72 480 tCO₂, lo que ayudaría a dejar de importar 280 mil barriles al año de GLP, con un ahorro aproximado de 18 millones de dólares.

Para lograr la implementación exitosa de un programa de CSA, se requieren esfuerzos decididos del sector gubernamental, así como de la iniciativa privada, la sociedad y el sector académico, en los siguientes aspectos:

- La participación del Gobierno federal es necesaria para promover el uso de energías renovables —con CSA u otras tecnologías— a través de políticas públicas. Esto ayudará a garantizar el éxito y permanencia de los programas.
- Desarrollar mecanismos de comercialización y financiamiento para los CSA. Uno de los principales factores que ha frenado su uso masivo es el alto costo de inversión inicial, por lo que se deben crear esquemas de financiamiento adecuados y accesibles, como ofertar diferentes mecanismos de adquisición e involucrar a más instituciones financieras, entre otros.
- Promover el crecimiento de las empresas fabricantes existentes y la creación de nuevas empresas para mayor capacidad de la industria mexicana. Uno de los beneficios sería la creación de fuentes de empleos en todos los niveles.

- Los sistemas tendrían que comercializarse con la certificación de la NOM-027-ENER/SCFI-2018, que se encuentra vigente desde 2018 y que asegura la calidad del producto instalado. El programa de CSA ayudaría a que los organismos de certificación y laboratorios de pruebas vuelvan a estar en operación.
- Garantizar la calidad de las instalaciones, mediante la contratación de instaladores certificados y capacitados para instalar, operar y dar mantenimiento a los sistemas. De esta manera, se formarían técnicos instaladores, supervisores de obra, y distribuidores, entre otros.
- Capacitar a los usuarios y crear espacios para su participación ayudará a tomar decisiones sobre el tipo de CSA más adecuado conforme a sus necesidades, así como a tener conocimiento de la operación de los sistemas, lo que a su vez disminuirá la desconfianza en torno a su uso.
- Implementar campañas de difusión para sensibilizar a los usuarios sobre las ventajas y el funcionamiento de la tecnología, los ahorros monetarios de combustible y las emisiones evitadas al ambiente. Esta información debe estar basada en datos duros y casos de éxito de los mismos usuarios. Esta acción implica también crear conciencia del gasto energético y económico de una actividad básica como el calentamiento de agua.
- Los retornos de inversión dependen del buen desempeño de los equipos, por lo que se deben desarrollar economías locales para crear cadenas de suministro sobre todo en regiones alejadas.
- Monitorear y documentar los ahorros generados, los impactos reales y las lecciones aprendidas a través del seguimiento y acompañamiento que se dé a los usuarios para asegurar el funcionamiento y durabilidad de los sistemas, así como para alcanzar los ahorros previstos.
- Crear estrategias que aseguren la sostenibilidad de los proyectos a largo plazo, como la capacitación de usuarios y de personal que dé mantenimiento a los sistemas.

Uno de los principales retos para la implementación de un programa nacional masivo de CSA es disponer de una mayor capacidad de la industria mexicana para la fabricación e instalación de calentadores solares de agua.

Otro reto importante es contar con CSA fabricados en México a un menor costo de producción en comparación con aquellos que llegan de otros países, para incrementar la competitividad de los productos internos. Diversas tecnologías se comercializan en nuestro país sin contar con la certificación vigente (NOM-027-ENER/SCFI-2018), lo que pone en riesgo la confiabilidad de la tecnología.

Por último, es indispensable promover el desarrollo de los calentadores autocontenidos, ya que son sistemas prometedores de menor costo y que representan una opción para las comunidades rurales que no cuentan con sistemas de respaldo.



Anexo A

Los programas e iniciativas que han surgido para impulsar el uso de calentadores solares de agua han enfrentado diversos obstáculos para su desarrollo. A continuación, se presentan las acciones que no estaban del todo definidas o resueltas al inicio de los programas, pero que fueron detectadas durante su operación.

Programas e iniciativas	Fecha de publicación	Sistemas con regulación *	Esquemas de financiamiento	Difusión	Mecanismos de evaluación y seguimiento	Método de pago
Programa de Calentadores Solares de Agua (Procalso 2007-2012)	2007	X	X	<input type="checkbox"/>	X	X
Hipoteca Verde	2007	X	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>
Iniciativa para la Transformación y el Fortalecimiento del Mercado de Calentamiento Solar de Agua en México	2009	X	X	<input type="checkbox"/>	X	X

Proyecto 25000 Techos Solares para México	2010	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X	<input type="checkbox"/>
Programa Ambiental y de Cambio Climático para la Ciudad de México 2019-2024	2019	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	X	X
Programa de Vivienda de la Conavi: Mejoramiento Integral Sustentable en Vivienda Existente (Fide, 2021)	2021	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>

* Desde 2010, los equipos empezaron a certificarse bajo la NMX-ES-004-NORMEX-2010.

Programa de Calentadores Solares de Agua (Procalsol 2007-2012)

Creado en 2007, fue promovido y liderado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee). En un inicio, su meta era llegar a una superficie instalada de 1.8 millones de m² en todo el territorio nacional para 2012, sobre todo en los sectores residencial, comercial, industrial y agronegocios. El *Balance Nacional de Energía* (Sener, 2012) reporta que en ese año la capacidad instalada total de calentadores solares en el territorio nacional fue un poco más de 2.2 millones de metros cuadrados.

Hipoteca Verde

El programa comenzó a ser implementado en 2007 por el Instituto Nacional de Fomento a la Vivienda de los Trabajadores (Infonavit) y en la actualidad sigue en operación. Consiste en un monto de crédito adicional para adquirir una

vivienda con ecotecnologías, con la intención de generar ahorros en el consumo de agua, luz y gas. En 2011, este programa se volvió obligatorio para el otorgamiento de créditos para la construcción de viviendas nuevas.

Iniciativa para la Transformación y el Fortalecimiento del Mercado de Calentamiento Solar de Agua en México

De manera complementaria al Procalsol, en 2009 el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), impulsaron esta iniciativa (La Iniciativa, 2017). Su ejecución ha estado a cargo de la Conuee, en colaboración con la Asociación Internacional del Cobre (ICA), la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la Agencia Alemana para la Cooperación Técnica (GIZ) y el Instituto Nacional de Fomento a la Vivienda de los Trabajadores (Infonavit).

Proyecto 25 000 Techos Solares para México

En 2009, Infonavit y la Cooperación Técnica Alemana (GTZ), con el apoyo económico del Ministerio Federal de Medio Ambiente, unieron esfuerzos para desarrollar el Proyecto 25 000 Techos Solares para México (La Iniciativa, 2017). Siguiendo el ejemplo del exitoso Programa de Incentivos de Mercado de Alemania, se determinó otorgar 2.5 millones de euros en subsidios para cubrir parcialmente el costo de inversión de hasta 25 mil colectores solares a través del sistema de crédito conocido como Hipoteca Verde, administrado por el Infonavit.

En la actualidad, diferentes instituciones como la Secretaría de Desarrollo Económico de la Ciudad de México (Sedeco), la Secretaría del Medio Ambiente (Sedema, 2021) y la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi) siguen trabajando en impulsar programas para el uso de calentadores solares de agua.

Programa Ambiental y de Cambio Climático para la Ciudad de México 2019-2024: Eje estratégico Ciudad Solar

El séptimo y último eje estratégico de este programa se llama Ciudad Solar. Como parte del impulso al uso de energías renovables, se reporta que, de 2019 a 2023, se han instalado más de 25 mil calentadores solares de agua. Se tienen instalados 242 colectores solares a través del Programa Energía Solar para Mipymes, 5,361 a través del Programa de Reconstrucción de Viviendas, 12,381 con los Programas de Mejoramiento del Instituto de Vivienda, y 7 311 con el presupuesto participativo de las alcaldías. Como resultado de acciones directas e indirectas del Gobierno de la Ciudad de México, estos calentadores ayudan a la mitigación de más 16 mil toneladas al año de CO₂, y evitan la quema de más 5 mil toneladas de GLP al año, lo que equivale a un ahorro de más de 120 millones de pesos al año.

Programa de Vivienda de la Conavi: Mejoramiento Integral Sustentable en Vivienda Existente

Tiene el objetivo de mejorar las condiciones de habitabilidad de viviendas existentes mediante acciones y estrategias que contribuyan a reducir el consumo de gas, agua y energía eléctrica (Fide, 2022). Se creó con la colaboración de la Secretaría de Energía (Sener), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (Fide).



Anexo B

Software para el cálculo del ahorro de gas, emisiones de CO₂ evitadas, factor solar y tasa de recuperación de la inversión de sistemas solares térmicos (García Valladares, 2017)

Considera los datos climatológicos del lugar y las curvas de caracterización del funcionamiento diurno y nocturno del sistema. Estos se obtienen de acuerdo con lo especificado en el capítulo 7 de la norma mexicana NMX-ES-004-NORMEX-2010, que establece el método de prueba para evaluar y comparar el comportamiento térmico de sistemas de CSA, sobre todo para uso doméstico.

Para entender la importancia de las curvas de caracterización, es necesario mencionar que éstas se obtienen a través de balances energéticos, en los que se utiliza una combinación de valores registrados mediante mediciones experimentales de radiación solar, temperatura ambiente promedio y un valor conocido de la temperatura del agua contenida dentro del equipo al inicio de las pruebas. Con estos datos se calcula la ganancia neta de energía, que absorbe el volumen de agua contenida dentro del equipo en la prueba diurna y las pérdidas de energía durante el periodo nocturno. Las curvas son características de cada sistema, e indican la relación existente entre la energía útil del equipo y la irradiancia solar. Pueden ser descritas de la siguiente forma (NMX, 2010):

$$\frac{Q_{U,diurno}}{H} = K_1 - U_{diurno} \frac{(T_{ini} - T_{amb})_{diurno}}{H} = \frac{mC(T_{fin} - T_{ini})_{diurno}}{H}$$

$$K_2 - U_{nocturno} (T_{ini} - T_{amb})_{nocturno} = mC(T_{ini} - T_{fin})_{nocturno}$$

donde:

$Q_{U,diurno}$	Es el calor útil contenido en el agua almacenada al final del periodo diurno (MJ).
H	Es la radiación solar incidente sobre el plano del colector solar en unidades de irradiación y durante el periodo de la prueba diurna (MJ/m ²).
K_1	Constante del sistema que pudiera representar a un valor equivalente del sistema de una absorptividad por un área de captación (m ²).
K_2	Constante del sistema que pudiera representar un remanente de energía o bien una diferencia debida a los errores inherentes a las incertidumbres de las mediciones cuando ($T_{in}=T_{amb}$, MJ).
$U_{diurno/nocturno}$	Es un coeficiente de pérdidas del sistema para el periodo diurno/nocturno (MJ/°C).
$T_{ini,diurno/nocturno}$	Es la temperatura homogénea del agua contenida en el equipo al inicio de la prueba diurna/nocturna (°C).
$T_{amb,diurno/nocturno}$	Es la temperatura promedio del medio ambiente durante el periodo de la prueba diurna/nocturna (°C).
m	Es la masa de agua contenida en el equipo (kg).
C	Es la capacidad calorífica del agua líquida (0.004186 MJ/kgK).
$T_{fin,diurno/nocturna}$	Es la temperatura homogénea del agua contenida en el equipo al final de la prueba diurna/nocturna (°C).

Con las curvas características del sistema y los datos climatológicos del lugar:

el *software* calcula día por día del año la energía obtenida por el sistema solar, contra la energía requerida por el usuario, con esto se obtiene mes por mes la contribución del sistema solar en la energía, requerida por el usuario y a su vez, el ahorro de combustible obtenido, las emisiones de CO₂ evitadas a la atmósfera, el tiempo de recuperación de la inversión, la tasa interna de retorno y el valor presente neto (García Valladares, 2017).

La relación entre MJ y kg de GLP se calcula dividiendo la ganancia de calor del sistema por día, entre el poder calorífico del GLP y la eficiencia de conversión energética mínima, como se indica a continuación (NMX, 2010):

$$m_{gas,LP} = \frac{m_v C (T_{fin, nocturna} - T_{ini, diurna})}{PC * EGC}$$

$m_{gas,LP}$	Masa de GLP (kg)
m_v	Masa de agua contenida en el volumen de termotanque (kg)
C	Capacidad calorífica del agua (0.004186 MJ/kgK)
$T_{fin, nocturna}$	Temperatura del agua al final de la prueba nocturna (°C)
$T_{ini, diurna}$	Temperatura inicial del agua durante la prueba diurna (°C)
PC	Poder calorífico del GLP (46.057 MJ/kg)
EGC	Eficiencia de conversión energética (EGC=0.74), es la eficiencia mínima de 74% para calentadores de gas de acuerdo con la norma correspondiente

Al tener la cantidad de combustible al mes, se pueden calcular los kilogramos de CO₂ que se evitarían al multiplicar por el factor de emisión correspondiente. Factor de emisión de GLP=3 kg/CO₂/kg (INECC, 2014).



Listado de figuras

- FIGURA 1.** Distribución de los usos finales en el sector residencial nacional | 10
- FIGURA 2.** Estructura de la matriz energética en el sector residencial nacional, urbano y rural | 11
- FIGURA 3.** Consumo nacional de gas licuado de petróleo por sector durante 2020 | 11
- FIGURA 4.** Distribución porcentual de viviendas que usan calentador de agua por región climática | 12
- FIGURA 5.** Distribución del calentamiento de agua en el sector residencial por región | 13
- FIGURA 6.** Irradiación global diaria promedio de México | 18
- FIGURA 7.** Tecnologías para el calentamiento de agua en el sector residencial | 20
- FIGURA 8.** Sistemas autocontenidos | 21
- FIGURA 9.** Capacidad instalada por tipo de tecnología | 22
- FIGURA 10.** Los 10 países líderes en instalación de calentadores solares de agua a nivel mundial | 23
- FIGURA 11.** Capacidad instalada por tipo de tecnología | 24
- FIGURA 12.** Superficie total de colectores solares instalados en México por año (m²) | 25
- FIGURA 13.** Instalación de colectores solares por uso final en 2019 (m²) | 25
- FIGURA 14.** Normatividad para pruebas de calentadores solares de agua | 27
- FIGURA 15.** Desagregación de la información para estimar el potencial de calentadores solares de agua en la Ciudad de México | 37



Listado de tablas

TABLA 1. Impactos a nivel familiar utilizando sistemas solares en las tres regiones climáticas del país | 33

TABLA 2. Impactos a nivel nacional utilizando sistemas solares en las tres regiones climáticas del país | 35



Referencias bibliográficas

- Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) (2020). *Balance Nacional de Energía Solar. Solar térmico*. ANES. https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2021/08ANES-Archivo-completo-BNE_Solar-Termico-202107.pdf
- Banco Mundial (2017). *Solar Resource Data*. Solargis. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/mexico>
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae) (2007). *Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México 2007-2012*. México: Conae/ANES/GTZ. https://energypedia.info/images/6/63/Proca-sol_2009.pdf
- _____ (2011). *Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México. Avances 2009-2010 y Plan Operativo 2010-2011*. México: Conae/ANES/GTZ. <https://www.bivica.org/files/calentadores-agua.pdf>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) (2014). *Calentamiento Solar de Agua-Programa de Calentamiento Solar de Agua 2014-2018*. Conuee. <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/calentamiento-solar-de-agua-programa-de-calentamiento-solar-de-agua-2014-2018>
- Comisión Reguladora de Energía (CRE) (2022). *Historial de precios promedio al público de gas LP reportados por los distribuidores*. CRE. <https://www.gob.mx/cre/documentos/precios-al-publico-de-gas-lp>

- Contreras, M., Serrano-Medrano, M. y Masera, O. (2022). *Patrones de consumo energético en el sector residencial de México: un análisis desde la perspectiva de usos finales*. México: Pronace ECC-Conahcyt. https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/pronaces/micrositios/energia_y_cambio_climatico/energia/cuadernos_tematicos/Cuaderno_Tematico_I_Pronaces_ECC_ISBN_final.pdf
- El Poder del Consumidor y Fundación Heinrich Böll (2023). *Hacia una transición energética justa: Fomentando el uso de calentadores solares de agua en México*. <https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2023/10/d-2310-hi-hacia-una-transicion-energetica-justa-fomentando-el-uso-de-calentadores-solares-d-agua.pdf>
- Ferrari, L. y Masera, O. (2020). El papel de las fuentes de energía en una transición social y ambientalmente sustentable. *Boletín Conacyt* (2), 61-68. <https://conahcyt.mx/el-papel-de-las-fuentes-de-energia-en-una-transicion-social-y-ambientalmente-sustentable/>
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (Fide) (2022). *Programa de vivienda de la Conavi: Mejoramiento Integral Sustentable en Vivienda Existente*. México: Fide. https://www.fide.org.mx/?page_id=14841
- García Ochoa, R. (2023). Pobreza energética en el hogar. *Ciencias y Humanidades* (7), 34-47. https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/publicaciones_conacyt/ciencias_y_humanidades/07_Ciencias_y_Humanidades.pdf
- García Valladares, O. (2017). *Fordecyt 190603: Estudio sobre el uso de la energía solar en aplicaciones residenciales, industriales y comerciales en diferentes estados del país*. <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/>
- _____ y Pilatowsky Figueroa, I. (coords.) (2017). *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*. México: UNAM. <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf/pdfTermoSolar.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2018). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (Encevi)*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/>
- _____ (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- _____ (2022). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/>
- La Iniciativa (2017). *Iniciativa para la Transformación y el Fortalecimiento del Mercado de Calentadores Solares de Agua. Resultados y Lecciones Aprendidas*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/394453/Iniciativa_para_la_Transformaci_n_y_el_Fortalecimiento_del_Mercado_de_Calentadores_Solares_de_Agua.pdf
- NADF (2006, 7 de abril). Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005 que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavanderías y tintorerías. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. Secretaría del Medio Ambiente (Sedema). 7 de abril de 2006. <https://paot.org.mx/centro/normas/NADF-008-AMBT-2005.pdf>
- NOM (2018, 28 de agosto). Norma Oficial Mexicana NOM-027-ENER/SCFI-2018, Rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares y de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como combustible gas L.P. o gas natural. Especificaciones, métodos de prueba y etiquetado. *Diario Oficial de la Federación*. 28 de agosto de 2018. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5536063&fecha=28/08/2018#gsc.tab=0
- NMX (2010, 12 de abril). Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-ES-004-NORMEX-2010. Energía solar-evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua-método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. 12 de abril de 2010. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5138268&fecha=12/04/2010#gsc.tab=0
- Ortega, H. (2018). *Energía solar térmica para procesos industriales en México: Estudio base de mercado*. https://www.giz.de/de/downloads/EnergiaSolarTermica_02_LOWRES.pdf

- Ramos Niembro, G. y Patiño Flores, A. (2006). Dimensionamiento, selección y beneficios del uso de calentadores solares de agua en el sector doméstico. *La Revista Solar* (57), 4-11. https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/RS_572006.pdf
- Secretaría de Energía (Sener) (2012). *Balance Nacional de Energía 2012*. México: Sener
- _____ (2020). *Balance Nacional de Energía 2020*. México: Sener. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf
- _____ (s.f.). *Sistema de Información Energética*. <https://sie.energia.gob.mx/>
- Secretaría del Medio Ambiente (Sedema) (2016). Diagnóstico de equipos a Gas LP y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de Gas LP, en viviendas de la ZMVM. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5a6/90c/ee5/5a690cee5778a676474901.pdf>
- _____ (2021). Informe de avances. *Programa ambiental y de cambio climático para la Ciudad de México 2019-2024*. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/ProgramaAmbientalydeCambioClimaticoParaLaCiudadDeMexico2019-2024AvancesIntegrados2019-2021.pdf>
- Solar Heat Worldwide (SHW) (2022). *Solar Heat Worldwide*. Obtenido de <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2022.pdf>
- Solar Payback (2018). *Calor Solar para la Industria: México*. https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2018/06/Solar-Payback_Calor-Solar-para-la-Industria_Mexico.pdf
- Tagle Zamora, D. y Álvarez Castañón, L. (2019). Calentadores solares de agua para viviendas vulnerables en Guanajuato: ¿estrategia socioambiental? *Vivienda y comunidades sustentables* (5), 11-21. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i5.98>

