Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Revisión sobre el desarrollo de materiales poliméricos avanzados para el aprovechamiento de la energía solar térmica

Review of the development of advanced polymeric materials for solar thermal efficiency

Covarrubias-Gordillo, C.A.[1]*, Ávila-Orta, C.A.[2], Fonseca-Florido, H.A.[2], Soria-Arguello, G.[2], González-González, F.J.[1], Cano-Salazar, L.F.[1], Flores-Guía, T.E.[1]

[1] Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Ing. J. Cárdenas Valdez S/N, República, Coahuila, Saltillo, 25280, México.
[2] Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Blvd. Enrique Reyna 140, Saltillo, Coahuila, C.P. 25294, México.
c_covarrubias@uadec.edu.mx*; carlos.avila@ciqa.edu.mx; heidi.fonseca@ciqa.edu.mx; gustavo.soria@ciqa.edu.mx; fgonzalezgonzalez@uadec.edu.mx; lucia.cano@uadec.edu.mx; tirsofloresguia@uadec.edu.mx

Innovación tecnológica: Materiales poliméricos avanzados para el aprovechamiento de la energía solar térmica.

Área de aplicación industrial: Transición energética y cambio climático. Industria del plástico. Industria de calefacción.

Recibido: 29 abril 2024
Aceptado: 17 septiembre 2024

Abstract

Fossil fuels are currently the main source of energy used, generating an environmental problem**,** which is born and remains a social problem since access to alternative energy sources is not equal and affordable. This has generated interest in the development of new materials for exploiting alternative energies; for example, the use of solar thermal energy for water heating through solar collectors is currently carried out with a metal collector surface isolated from the outside with vacuum glass, this device being expensive, heavy, fragile, and unaffordable devices for remote communities. For this reason, the replacement of these materials by advanced polymers has been sought, with unique properties such as high resistance and lifespan, lightness, cleanliness in contact with water, economic, and the ability to transfer heat efficiently. The present work compiles the progress in history on the development of polymers as materials for the construction of solar heaters, from the first publication registered in 1976 to the present, where they are presented as advanced polymeric materials with unique properties.

Keywords: Advanced materials, Solar energy, Polymers, Renewable energy.

Resumen

Los combustibles fósiles actualmente son la principal fuente de energía utilizada, generando un problema de carácter ambiental, que nace y se mantiene de un problema social, ya que no es igualitario y asequible el acceso a fuentes alternas de energía. Lo anterior, ha propiciado el interés por el desarrollo de nuevos materiales para el aprovechamiento de energías alternas, por ejemplo, el aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de agua mediante colectores solares, actualmente se lleva a cabo con una superficie captadora metálica aislada del exterior con vidrio al vacío, siendo este dispositivo costoso, pesado, frágil y poco asequible para comunidades alejadas. Por lo anterior, se ha buscado la sustitución de estos materiales por polímeros avanzados, con propiedades únicas como una alta resistencia y tiempo de vida, ligereza, limpieza al contacto con el agua, económicos y con la capacidad de transferir el calor con eficiencia. El presente trabajo, recopila el avance en la historia sobre el desarrollo de los polímeros como materiales para la construcción de calentadores solares, desde la primera publicación registrada en 1976 hasta la actualidad, donde se presentan como materiales poliméricos avanzados con propiedades únicas.

Palabras clave: Energía solar, Energía renovable, Materiales avanzados, Polímeros.

I. Introducción

En las últimas décadas, los combustibles fósiles se han mostrado como la principal fuente de energía en el mundo, resultando en la actualidad, en un problema prioritario de carácter social y ambiental[1,2]. Lo anterior, ha llevado a la comunidad científico/tecnológica a dedicar una considerable atención a la innovación, caracterización y la aplicación de la ciencia y tecnología que permita el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía, siendo una de las más prometedoras (específicamente para México) la energía solar térmica[3].

La energía solar, es aquella emitida por el sol y se estima que es equivalente a $1.7x10^{14}$ KW, lo que representa la potencia correspondiente a 170 millones de reactores nucleares de 1,000 MW de potencia eléctrica unitaria, es decir, más de 10,000 veces el consumo energético mundial. Además, según el sitio oficial de la NASA, los científicos predicen que el sol está a poco menos de la mitad de su vida y durará otros 5 mil millones de años aproximadamente antes de convertirse en una enana blanca, por lo que se puede asegurar que se dispone de una fuente de energía gratuita, asequible y respetuosa con el medio ambiente, por un periodo de tiempo prácticamente ilimitado[4].

De manera particular, México se encuentra en una posición privilegiada en cuanto a su importante potencial energético solar, ya que este es mayor al promedio mundial (hasta 10 veces más), con aproximadamente 3,000 horas anuales y con alta densidad de kW/m^2 (5 kWh/m^2 por día sobre el 75% del territorio) y de radiación directa (ver Figura 1), por lo que su aprovechamiento se muestra prometedor para cubrir, por el momento, tareas sencillas del hogar y la industria, como lo es el calentamiento de agua (recurso utilizado en diversas actividades y procesos)[5].

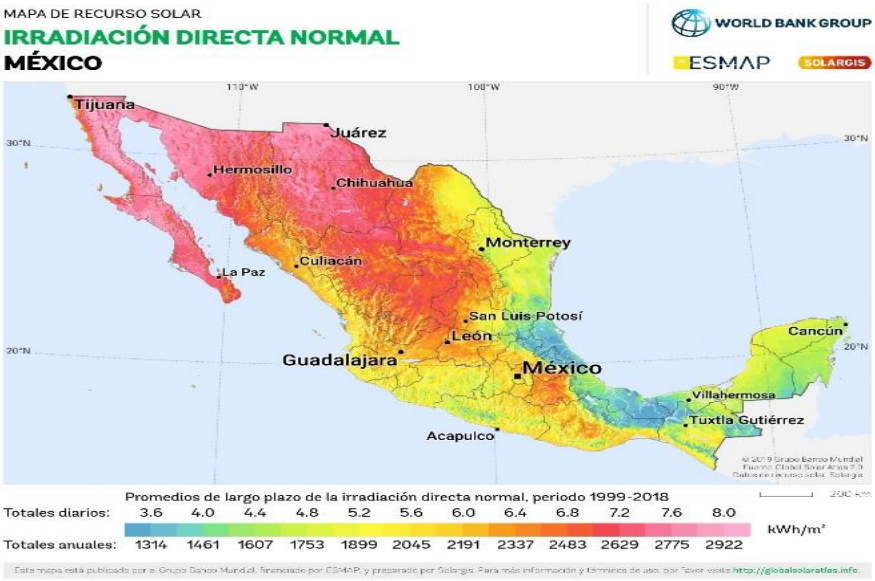


Figura 1. Recursos solares de México. © 2019 The World Bank Source: Global Solar Atlas 2.0. Solar Resource data: Solargis.

Actualmente, el aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de agua, se lleva a cabo mediante los conocidos como calentadores/colectores solares. Generalmente, estos consisten en una serie de tubos o placas (de materiales metálicos) en paralelo, que se encuentran aislados del exterior por un doble tubo o cajón (dependiendo del modelo) de vidrio al vacío, que, al exponerse a la radiación solar, absorben parte de esta e incrementan su temperatura. Los tubos y placas transfieren el calor al agua contenida por los mismos y la calientan para ser depositada en un tanque contenedor, el cual comúnmente está fabricado con materiales aislantes para mantener la temperatura del agua (ver Figura 2).

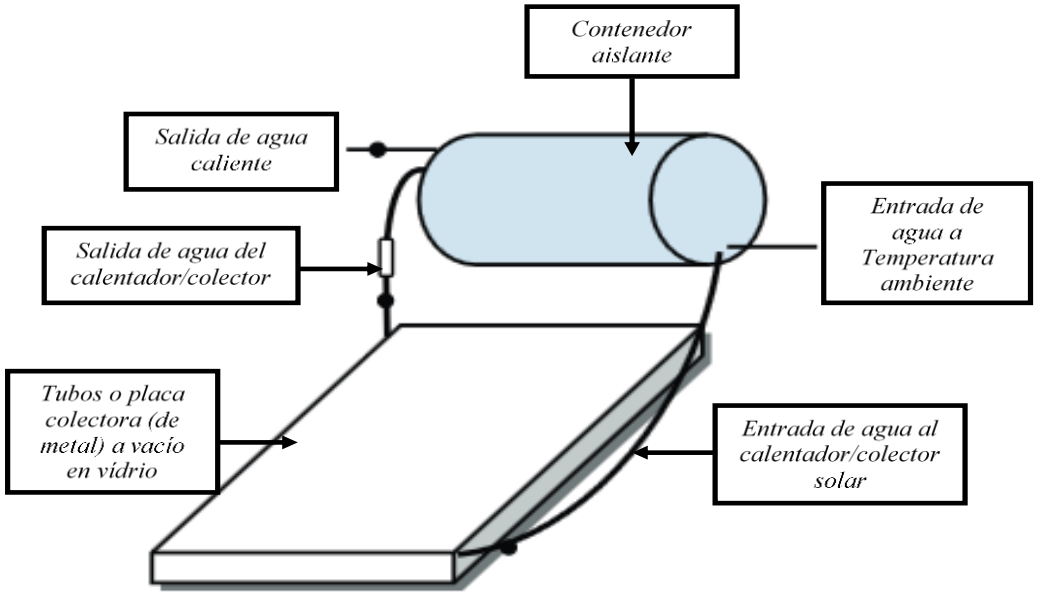


Figura 2. Esquema general de un calentador solar para el calentamiento de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Pese a ser considerados como los productos más rentables de todos aquellos que utilizan energía solar[6], cuentan con diversas desventajas que impiden su implementación de forma global: son pesados, costosos, delicados y presentan corrosión en su contacto con el agua. Por lo que, actualmente, son dispositivos poco asequibles para la sociedad en general.

Con base en lo anterior, se ha propuesto el uso de polímeros como materiales sustitutos de los vidrios y metales que conforman los calentadores solares. Sin embargo, los polímeros presentan una baja conductividad térmica lo que impide su desempeño de manera óptima en dicha aplicación. Es por ello que, en años recientes, se han sumado esfuerzos por innovar en los diseños y propiedades de los materiales poliméricos para mejorar su desempeño.

El objetivo del presente documento es presentar y divulgar información objetiva en materia de ciencia y tecnología, que detalle la evolución de los materiales poliméricos para su posible uso en el aprovechamiento de la energía solar térmica. La información presentada, fue obtenida mediante la realización de búsquedas en bases de datos especializadas y los resultados destacan los componentes y principales resultados obtenidos por los autores. Además, los resultados son presentados en forma narrativa y se dan evidencias de tendencias y avances a la fecha, concluyendo en la pertinente promoción a la investigación y desarrollo de los materiales poliméricos avanzados con futuras aplicaciones en el sector energético.

II. Materiales y Equipo

La presente investigación se desarrolló como un estudio de gabinete, analizando publicaciones sobre investigaciones científicas reportadas en artículos científicos y patentes, que permiten el análisis de tendencias de materiales poliméricos avanzados para el aprovechamiento de la energía solar térmica, por lo que, solamente fue empleada una computadora de la marca Dell modelo Latitude 5490, core i7 de la 8th generación. Para la búsqueda bibliográfica de artículos se utilizó el buscador especializado SciFinder®, el cual tiene acceso ilimitado a una de las bases de datos más completas del mundo de referencias, sustancias, reacciones químicas y conocimiento científico y tecnológico confiable. SciFinder® ofrece un motor de búsqueda flexible y con múltiples opciones que permiten encontrar la información sobre diferentes temas científicos y tecnológicos en revistas publicadas y patentes registradas. Debido a la confiable base de datos del SciFinder®, este buscador es utilizado por los industriales para monitorear las tecnologías emergentes y detectar las diversas áreas de oportunidad para generar tecnología de punta.

III. Métodos Experimentales

Se determinó realizar la investigación de las tendencias y expectativas mediante la selección de palabras claves y su conjugación para utilizarlas en el motor de búsqueda del SciFinder®, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Palabras claves y sus combinaciones utilizadas para las búsquedas bibliográficas con el programa SciFinder®.

Palabras claves	Combinación de palabras
1. Solar. 2. Collector. 3. Water. 4. Heaters. 5. Materials. **6.** Polymer	1. Solar Collector. 2. Polymer collector 3. Water Heaters. 4. Materials Solar Collector. 5. Solar water collector polymer

Se determinó un periodo de tiempo desde los años setentas, así como se limitó el estudio a solo seleccionar artículos y descartar conferencias o publicaciones en congresos, ya que este tipo de documentos carece del rigor de análisis con el cual si cuentan los artículos científicos.

IV. Discusión de Resultados

i. Generalidades encontradas

Los resultados demostraron que, de los más de 100 artículos encontrados, solamente se identificaron 24 relacionados con el tema de investigación: materiales poliméricos empleados en la fabricación de los calentadores solares de agua. Sin embargo, cabe mencionar, que se observó que la mayoría de los artículos abordan los estudios de mejora del rendimiento térmico realizando modificaciones a los componentes de un calentador solar o añadiendo algún dispositivo de mejora al sistema. Por ejemplo, Suman y col. (2015)[7] discutió tres métodos de mejora: a) la modificación en la geometría de la superficie, b) el uso de recubrimientos y c) el uso de un nanofluido. Por su parte, Pandey y col. (2017)[8] revisó siete tipos de desarrollos para calentadores solares, en este, se incluye la utilización de un material polimérico como placa absorbente, la modificación de diseños de placas absorbentes y el empleo de materiales de cambio de fase.

Cabe mencionar que el segundo sector más amplio de artículos encontrados, cubren el tema de la simulación del comportamiento térmico de estos calentadores utilizando nuevas herramientas computacionales. Los resultados de estos estudios, en general, sirven para determinan que variables tiene un mayor efecto sobre los rendimientos de los calentadores solares de agua, como el flujo del agua, las condiciones ambientales o modificaciones del diseño.

ii. Avances en materiales poliméricos

En materia de avances en materiales poliméricos para el aprovechamiento de la energía solar térmica, mediante la construcción de calentadores solares, el primer artículo data desde los años 70´s, en donde Dickinson y col. (1976)[9] diseñaron un calentador que consistía en una bolsa de plástico en donde se depositaba el agua y se soportaba por una capa de aislante térmico. En esta década, aun no se pensaba en el uso de polímeros como material absorbente de la radiación solar. No obstante, conforme la tecnología de los compuestos poliméricos fue evolucionando, también lo hizo la aplicación de estos en los calentadores solares; ya que además de utilizarse como materiales aislantes, se empezó a utilizar para fabricar otras partes más importantes como los tubos y el plato colector. Para esto, tendrían que pasar aproximadamente 20 años para que los polímeros tomarán mayor relevancia. Durante este periodo (y la década de los noventas), se descubrió que el principal desafío para diseñar un intercambiador de calor de polímero es seleccionar un polímero que sea compatible con el agua potable y capaz de soportar los requisitos de alta presión y temperatura de los sistemas de agua

caliente sanitaria. Los polímeros certificados para aplicaciones de agua caliente o que se usan actualmente en intercambiadores de calor deben resistir 1.1 MPa a 23 °C y 0.55 MPa a 82 °C (para agua caliente sanitaria), se fijó como objetivo una vida útil mínima de 10 años operando en un entorno de alta temperatura y presión. Además, se consideró que el polímero no debe ser higroscópico, dimensionalmente estable en agua a 82 °C durante 10 años y no debe mostrar hinchazón, ablandamiento o hidrolización en este período[10].|

En 1993, Ghoneim y col. (1993)[11] compararon un colector de polietileno contra uno de cobre, y los utilizaron para surtir agua caliente a un edificio (tanto como calefacción como sanitaria). El fabricado con componentes poliméricos, contaba con un costo mucho menor. Los autores encontraron que los sistemas solares de agua caliente sanitaria son una alternativa preferible a los sistemas de calefacción convencionales en la calefacción de agua y de espacios que se utilizaban en aquel año. No obstante, demostraron que a medida que aumenta el área del colector, los costos del sistema fuerzan a que disminuyan los ahorros solares.

Durante el mismo año, Niekerk y Scheffler (1993)[12], realizaron pruebas de calentadores solares de agua con absorbedores de tubos de polipropileno (PP) espaciados en cajas colectoras aisladas, como las usadas comúnmente en la época. El estudio determinó que al aumentar el número de tubos expuestos (de 38 a 67) la eficiencia media del mediodía aumenta solo en un 12,9%, Por lo tanto, puede ser más rentable usar menos tubos, más espaciados.

Durante el año de 1994, Jorgensen y Col. (1994)[13], durante la conferencia “7th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies”, presentaron materiales poliméricos reflectores avanzados para concentradores solares. Los costos del concentrador son una parte importante de los costos totales de un sistema solar térmico, generalmente son de vidrio, pero estos son pesados, frágiles y costosos. En comparación con el vidrio, los espejos de polímero tienen la ventaja de ser flexibles, livianos y menos costosos, pero tienen menor durabilidad y vida útil más corta que los espejos de vidrio. Los materiales que presentaron contaban con un proceso de deposición de polímero y plata sobre sustratos plásticos flexibles.

Desde este año se reportaron resultados satisfactorios en pruebas de campo de polímeros como colectores solares. Un ejemplo es el trabajo de Sopian y Col. (1994)[14], quienes realizaron un monitoreo del desempeño de un colector solar termosifón de agua caliente sanitaria con tubería de TPNR (caucho natural termoplástico) como placa absorbente. Se obtuvo una temperatura de salida de 65 °C del colector para un día típico de 550 W/m^2 (en Malasia) y una temperatura ambiente de 26 °C. No obstante, cabe mencionar que las metodologías utilizadas hoy en día, como la norma NMX-ES-004-NORMEX-2010, para determinar el desempeño de un calentador solar, es muy diferente a la utilizada en los años noventa.

Resultados similares fueron observados por Tsilingiris (1999)[15], el autor menciona que el uso extensivo de materiales poliméricos está pensado principalmente para el montaje fácil y económico de grandes campos de colectores solares a un costo fraccionario. Los resultados comparativos indicaron claramente que el futuro de la tecnología de los grandes sistemas solares depende en gran medida del desarrollo de sistemas de bajo costo y diseño innovador.

Para el siguiente periodo, posterior al año 2000, ya se había demostrado que los polímeros son materiales de alto potencial y bajo costo para el diseño y la producción en

masa no sólo de calentadores de agua solares comunes, sino también de colectores solares modulares de gran tamaño, muy simples, adecuados para el fácil montaje de grandes plantas de calefacción solar. No obstante, aún se lidiaba con su principal inconveniente para las aplicaciones de conversión solar térmica: la tolerancia ambiental, lo que suele conducir a una degradación acelerada debido a la exposición de las piezas del colector a la radiación UV y a su baja conductividad térmica, que puede convertirse en un factor limitante a menos que se implemente un diseño de absorbente adecuado. Por ejemplo, en el año 2000, Tsilingiris (2000)[16] analizó diferentes parámetros en la construcción de colectores solares poliméricos, definiendo que la conductancia de la placa (definida como conductividad térmica por la relación de espesor de la placa de polímero) se convierte en un parámetro muy importante. Según el análisis desarrollado, se encontró que cuando este parámetro es inferior a un cierto valor crítico, el factor de eficiencia del colector disminuye drásticamente, mientras que el coeficiente de pérdida del colector puede aumentar significativamente, lo que lleva a un deterioro sustancial del rendimiento del colector. Se estimó que este valor crítico era de aproximadamente 200, independientemente del rendimiento del colector o de los parámetros operativos. Para una conductividad térmica promedio de 0,33 y 0,14 W/m °K para poliolefinas y EPDM, esto normalmente corresponde a espesores de placa de 1.6 y 0.7 mm, respectivamente. Posteriormente, en el año 2002, el mismo grupo de trabajo[17] presentaría la evaluación del diseño de la placa de polímero retroabsorbente, que permite la absorción de radiación en la corriente de agua y en la placa posterior. Los resultados presentan comparativamente con los obtenidos por el diseño de placa absorbente superior; se observó una notable mejora del factor de eficiencia del colector y una correspondiente reducción del coeficiente de pérdidas del colector, algo que conduce a una mejora significativa del rendimiento instantáneo. Durante el mismo año se comenzaron a probar más matrices poliméricas que no habían sido evaluadas en la década anterior. En el trabajo de Sopian y Col. (2002)[18], se presentó el desempeño de un colector solar fabricado de TPNR (caucho natural vulcanizado dinámicamente), el cual, cumplió con el estándar de evaluación GB 4271-84.

Por su parte el grupo de trabajo de Wu y Col. (2004)[19] probaban diversas matrices poliméricas especializadas para su uso en esta aplicación; encontrando que los polímeros certificados para componentes de tubos y utilizados en intercambiadores de calor que exhiben buenas características de alta temperatura son: nylon para altas temperaturas (HTN), polipropileno (PP) y polipropileno reticulado (PEX). Este mismo grupo de trabajo en el 2009[20], decidiéndose por el PP, realizaron un estudio experimental de comparación de incrustación de sales entre tubos de polipropileno y cobre expuestos a un flujo de agua del grifo; se observó que la exposición prolongada al agua del grifo oxida la superficie de los tubos y posteriormente afecta la incrustación. La superficie de cobre oxidado es más susceptible a las incrustaciones de fosfato de calcio y esta tendencia da como resultado una tasa de incrustaciones más alta para el cobre que para el polipropileno en agua con contenidos de fosfato.

Finalmente, a finales de esta década se publicaron trabajos donde se utilizaron las ciencias computacionales para la predicción de resultados por medio de la obtención de modelos específicos, por ejemplo, Martinopoulos y Col. (2010)[21] desarrollaron un colector solar de polímero e investigaron su comportamiento tanto experimentalmente como mediante dinámica de fluidos computacional (CFD); se encontró que la

distribución de temperatura durante la operación y la eficiencia promedio del colector, concordaban entre los datos experimentales y los resultados del modelado CFD.

En el 2010, Olivares y Col. (2010)[22] presentaron un ensayo mecánico para caracterizar el proceso de envejecimiento de un colector solar polimérico como consecuencia de la exposición a altas temperaturas. En base a estas mediciones, este trabajo propone un modelo para predecir la degradación del absorbente solar polimérico durante su vida útil. Las predicciones del modelo se comparan con los resultados de un absorbente polimérico expuesto a condiciones exteriores durante dos años y se observó que el colector polimérico es capaz de lograr una vida útil prolongada; por tanto, el absorbente se considera adecuado para ese tipo de aplicaciones. Sin embargo, en el caso de los sistemas combinados, el modelo sugiere que las temperaturas estancadas reducirán gravemente la vida útil del absorbente. Este tipo de trabajos permite pensar en introducir una protección fiable contra el sobrecalentamiento en el colector para prolongar la vida útil del absorbente en este tipo de sistema de calentamiento solar.

Durante la década del 2010 al 2020, los estudios sobre los polímeros como colectores solares se denotan ausentes, enfocando los estudios en el uso de polímeros para la formación de materiales de cambio de fase, así como el uso de nanofluidos para incrementar el desempeño de los colectores solares. El uso de MPA cuentan con pocos avances ya que la mayoría de las investigaciones se limitan a presentar los resultados de conductividad térmica de los materiales y otras propiedades.

No obstante, aún se encontraron algunos trabajos específicos, que aportan conocimiento al área. Los estudios sobre los polímeros como colectores solares, evolucionó en los materiales poliméricos avanzados (MPA), es decir, las matrices poliméricas son mezcladas con diversas partículas (metálicas, cerámicas, naturales, a base de carbono, etc.) que confieren nuevas propiedades a los polímeros, como la conducción de calor y alta resistencia mecánica.

Antar y Col. (2012)[23], estudiaron las propiedades térmicas del biopolímero PLA cargado de grafito exfoliado y/o CNT. Además, midieron la absortividad hemisférica total, una estimación de la emisividad hemisférica total y el coeficiente de conductividad térmica. Los autores reportaron que la conductividad térmica de un compuesto polimérico se puede aumentar drásticamente incorporando grafito expandido en forma de red. Además, la absortividad solar disminuye con la cantidad de rellenos y la emisividad total parece ser insensible a la concentración de partículas. Como se registró una alta emisividad, se requiere una capa superficial para limitar las pérdidas de calor por radiación de longitud de onda larga.

De manera sobresaliente, en México en el 2014, de la Peña y Aguilar (2014)[24] presentaron por la empresa mexicana Módulo Solar, colectores solares de polímero con el mismo rendimiento térmico y de tamaño similar a los comúnmente utilizados de metales. Además, observaron que, debido a su alto porcentaje de elongación, los polímeros pueden evitar el uso de una válvula externa anticongelante para resistir bajas temperaturas ambientales. Estos colectores solares poliméricos alcanzaron las especificaciones de funcionalidad requeridas en el mercado mexicano las cuales se describen en la Especificación Técnica de Energía Solar Térmica para Vivienda.

Gosselin y col. (2017)[25], quienes comprobaron que tubos de polietileno de alta densidad (HDPE) reforzados con partículas de carbono son más eficientes, para la construcción de bombas de calor, que aquellos fabricados con el HDPE puro. Los autores encontraron una reducción en la longitud de las bombas de calor entre 9 y 14.8 % y una reducción del costo de construcción entre 3.3 y 8.6 %. Además, el estudio demostró que el uso de estos materiales puede ser una solución financieramente viable y ambientalmente beneficiosa. Otro ejemplo es el estudio de Pugsley y col. (2017)[26], quienes fabricaron un colector solar reforzando una matriz de policarbonato con nanotubos de carbono (CNTs). Los resultados indicaron que la adición de CNTs a sistemas poliméricos puede ser beneficiosa para esta aplicación, obteniendo un 62% de eficiencia de recolección máxima, siendo este valor mayor a los valores de referencia propios de los colectores fabricados con tubos al vacío del mercado (59%).

Asmussen y Col. (2018)[27] fabricaron un nanocompuesto a base de polímero con partículas de plata de tamaño nanométrico (NSP) para una recolección eficiente de energía solar. La temperatura alcanzada durante la irradiación de los nanocompuestos fue de hasta 115 °C.

En el año 2019, nuevamente el equipo de trabajo de Pugsley y Col. (2019)[28] agregaron nanotubos de carbono a materiales poliméricos para mejorar sus propiedades térmicas, ópticas y mecánicas. Dos prototipos funcionales, un colector de CNTs y policarbonato (PCNT) y un colector de CNTs y asfalto (ACNT), se probaron utilizando las instalaciones de simulación solar de la Universidad de Ulster y se compararon sus rendimientos. Se encontró que el recolector PCNT logró una eficiencia máxima de recolección del 62% en comparación con el 45% del recolector ACNT. El rendimiento del colector PCNT fue similar a los valores de referencia para colectores de vidrio simple con superficies absorbentes selectivas, pero el colector ACNT respondió muy lentamente y el rendimiento fue inferior al de un calentador típico sin vidriar con absorbente no selectivo debido a la alta resistencia térmica entre la superficie del absorbente y el tubo serpentino.

Chekchek y Col. (2021)[29] diseñaron y construyeron un calentador solar con botellas plásticas. Los resultados obtenidos indicaron un aumento en la temperatura del agua superior a 10 ℃ en un día ideal de primavera. La eficiencia térmica del colector solar era aproximadamente del 62% bajo la luz solar y del 44% en el laboratorio donde se utilizaban lámparas halógenas como fuente de iluminación industrial.

Akhavan y Col. (2022)[30] elaboraron un nanocompuesto de polietileno/grafito (PE/NG) como absorbente polimérico y se investigó el efecto de la radiación sobre el comportamiento térmico y mecánico del mismo. Los resultados mostraron que el nanocompuesto que contiene 2.25% de grafito tiene la mejor resistencia a la tracción y estabilidad térmica. Además, esta concentración de NG mejora el punto de fusión y las propiedades térmicas, así como la absorbancia UV/Vis del nanocompuesto, por lo que es un fuerte candidato adecuado para absorber energía solar térmica.

Cui y Col. (2022)[31] fabricaron un novedoso aerogel a gran escala a base de grafito expandido (EGA) con alta conductividad térmica y excelente capacidad de captación de energía solar mediante polimerización en gel para cargar polietilenglicol. El material presentó una mejora en la eficiencia de carga de energía solar térmica del 31.8 al 91.8 %, además, los resultados del análisis de beneficios económicos y ambientales indicaron que la aplicación del compuesto para la captación solar para el suministro de

agua caliente sanitaria presenta importantes ventajas potenciales para aliviar las emisiones de gases verdes.

Zhang y Col. (2023)[32] informaron sobre la formación de nanocompuestos de ácido poliláctico (PLA) rellenos de CNTs de paredes múltiples alineados mediante impresión 3D. La estructura alineada verticalmente impresa demuestra una conductividad térmica a través del plano (k⊥) de ∼0.575 W/(mK) con un contenido de MWCNT del 20% en peso, que es aproximadamente 2.64 veces mayor que la de una estructura alineada horizontalmente. ∼0.218 W/(mK)) y alrededor de 5,87 veces la del PLA puro (∼0.098 W/(mK)) a 35 °C. Los autores concluyeron que este trabajo allana el camino para desarrollar compuestos poliméricos reforzados con carbono para aplicaciones relacionadas con la temperatura, como disipadores de calor o colectores térmicos.

Por otra parte, Sachin y Col. (2023)[33] utilizaron el mismo principio que un colector solar, pero lo utilizaron como un secador solar de gabinete a base de polímeros reforzados con fibras naturales. El gabinete secador fue diseñado a escala industrial para secar 5 kg de jengibre por lote. El gabinete resultó con un nivel de humedad inferior al 8.5% en 4 a 7 días. Los estudios mostraron una eficiencia del 75% y los estudios de energía dieron lecturas máximas de eficiencia de secado de 25,5 kJ/kg durante un período que oscilaba entre 11 y 12 horas. Se trata de un incremento del 75% en la eficiencia energética. Se encontró que la degradación térmica del material FRP era estable hasta 300 °C. El peso total del gabinete de polímero construido fue un 25% menor que el de los sistemas convencionales.

Al día de hoy, los polímeros se encuentran ya en el mercado de los calentadores solares, siendo principalmente utilizados para fines recreativos donde los requerimientos caloríficos son bajos. No obstante, como se observó, los avances tecnológicos en el área son constantes debido a la necesidad de realizar una transición energética asequible que tenga en cuenta el ambiente y progreso igualitario para la sociedad.

iii. Tendencias clave e hitos en el desarrollo de MPA

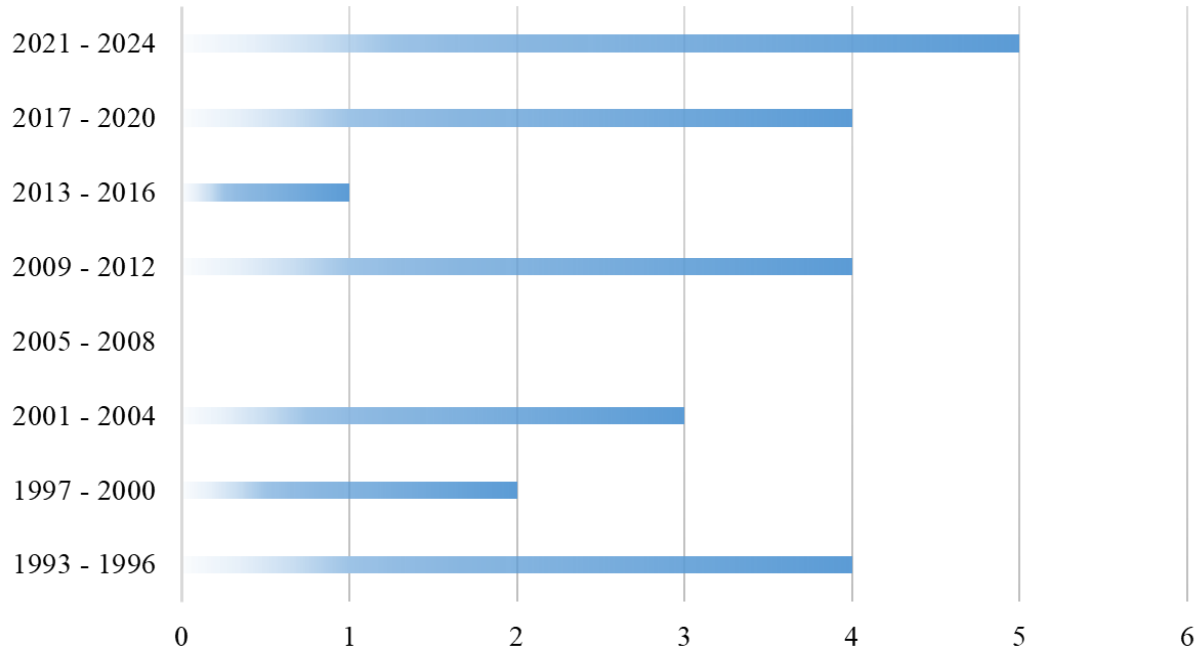


Figura 3. Publicaciones encontradas por periodo cuatrienal.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se puede observar que las publicaciones analizadas se encuentran dispersas de manera constante a lo largo de los últimos 30 años, con excepción del periodo del 2005 al 2008, donde no se encontró alguna publicación en el área en cuestión analizada.



Figura 4. Rendimiento térmico reportado por las publicaciones encontradas.
Fuente: Elaboración propia.

Dichas investigaciones no han incrementado de forma significativa el rendimiento térmico de los colectores a base de polímeros, como se puede observar en la Figura 4. No obstante, las mejoras en diseño y/o materiales han incrementado otras propiedades o funciones necesarias, como: la conductividad térmica, resistencia mecánica, costos y facilidad de producción.

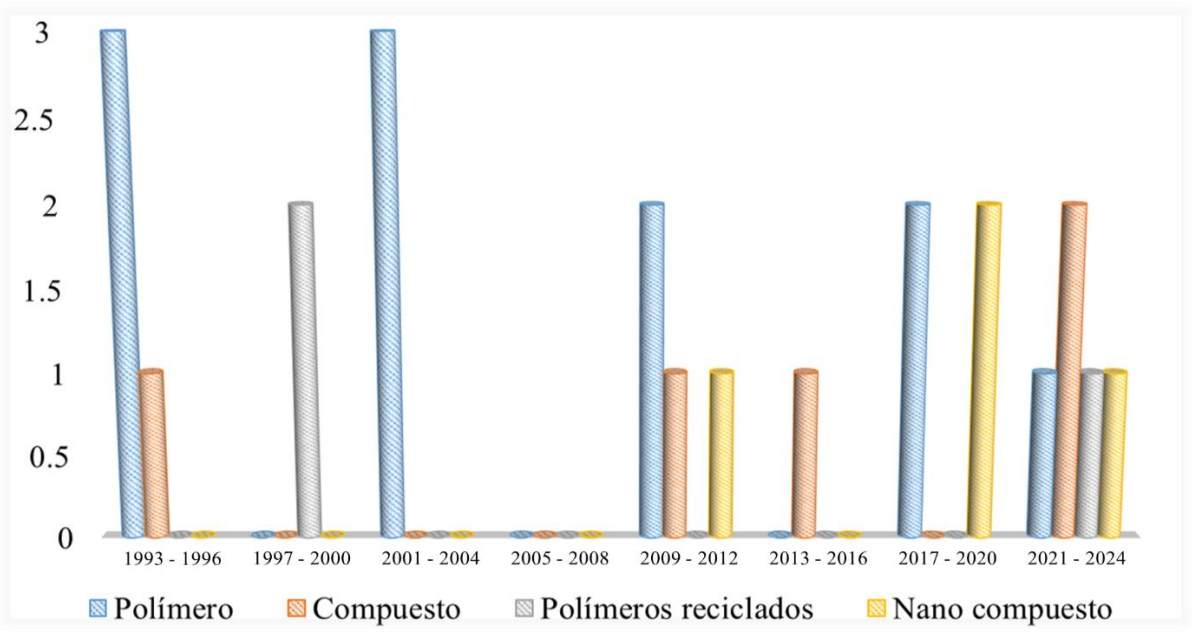


Figura 5. Tipo de material utilizado por periodo cuatrienal.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se puede observar como la investigación sobre los polímeros puros ha ido disminuyendo gradualmente dando lugar a los compuestos y nano compuestos, así como el uso de polímeros reciclados. Además, se denota la tendencia a la aparición de los compuestos y nano compuestos en el periodo donde se descubrieron las estructuras grafíticas, por lo que se sugiere que estos en su mayoría son dominados por partículas y nano partículas a base de carbono.

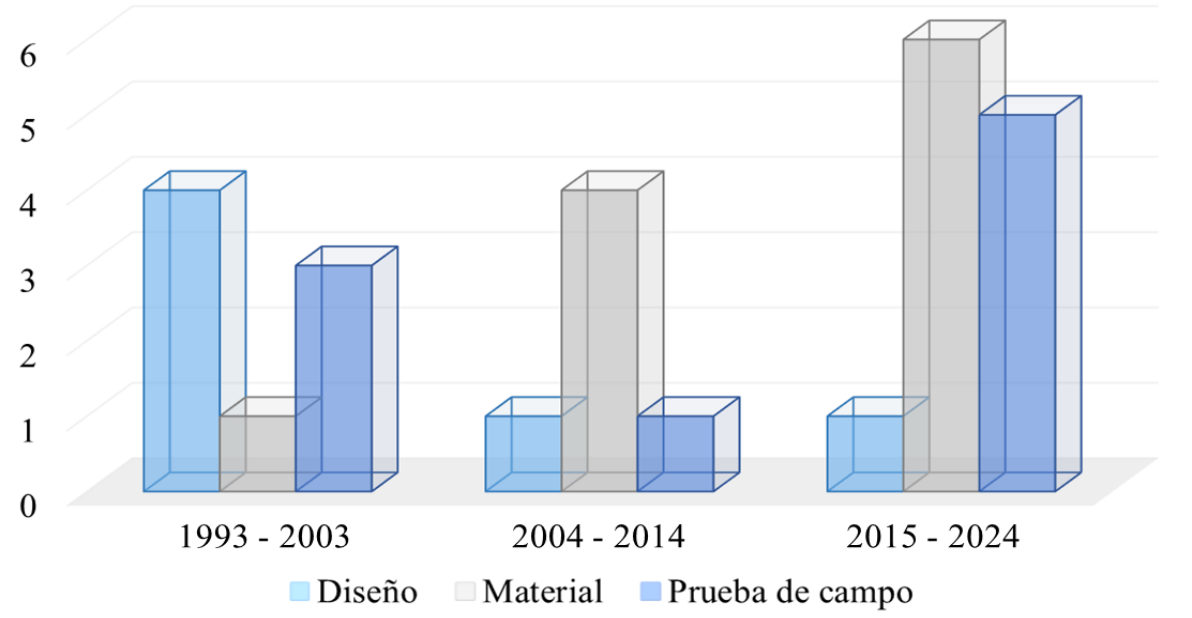


Figura 6. Tipo de investigación realizada sobre diseño del colector, sobre propiedades del material y/o pruebas en campo segmentada por década.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura 6 se puede observar como la investigación ha evolucionado centrada en objetivos particulares. En la década de 1993 al 2003, las propiedades de los polímeros puros (de la información obtenida de la Figura 5) eran conocidas, por lo que la investigación se centró en la optimización del diseño y el desempeño de estos nuevos modelos en el campo. Posteriormente, en la década del 2004 al 2014, se observa que inicia la investigación sobre las propiedades de nuevos materiales, coincidiendo con la Figura 5, donde se observó la tendencia a la investigación en materiales compuestos y nanocompuestos. En último lugar, la década de 2015 al 2024 se están llevando a cabo las primeras pruebas de campo de los materiales generados en la década anterior. No obstante, se observa una tendencia al crecimiento en el área de los materiales y sus respectivas pruebas de campo, mientras que el diseño de los colectores solares ha tendido a disminuir, quedando casi inexistente en las últimas dos décadas.

V. Conclusiones

Actualmente, la economía de la mayoría de los países depende en gran medida de fuentes de combustibles fósiles, y las consecuencias adversas a corto y largo plazo, generan interés particular en el desarrollo de avances científicos y tecnológicos que atiendan la problemática de manera asequible a la sociedad.

El uso de los polímeros como material para la construcción de calentadores solares, ha evolucionado con los años, al grado de desplazar los materiales metálicos para la fabricación del colector, la pieza principal de un calentador solar. Al momento la investigación de los polímeros en el área cuenta con más de 45 años, y si bien se observó en menor medida en la década del 2010, esta volvió a tomar impulso con la aparición de las nanopartículas de carbono.

Actualmente la investigación de los polímeros se muestra enfocada al aumento de sus propiedades, específicamente, térmicas y mecánicas, por lo que la información sobre el desempeño de estos materiales en pruebas de campo, se denotó limitada.

Finalmente, cabe mencionar que los materiales poliméricos avanzados se muestran como un fuerte candidato adecuado para la construcción de colectores solares poliméricos, ya que alcanzan rangos de temperatura de 55 a 65 °C, por lo que son ideales para su uso en el calentamiento de agua para actividades recreativas (albercas, centros acuáticos, etc.) así como de apoyo o soporte a los calentadores convencionales de gas en actividades del hogar y en la industria agroindustrial y alimenticia; Además, de presentar propiedades y características adecuadas para la aplicación, como absorber energía solar térmica, conducirla al fluido, con la resistencia mecánica necesaria para su desempeño en la intemperie y con costos que se visibilizan asequibles para la sociedad en general.

VI. Referencias

1 BP Energy Economics, Statistical Review of World Energy, UK, 2019.

2 International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2022, 2022.

3 J. Gong, C. Li, M. Wasielewski, *Chem Soc Rev* 2019, *48*, 1862.

4 E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, K. H. Kim, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, *82*, 894.

5 J. A. Silva, M. A. Andrade, *Int. J. Energy Sect. Manag.* 2020, *14*, 1333.

6 V. B. Gawande, A. S. Dhoble, D. B. Zodpe, *Renew. Sustain. Energy Rev.*

2014, *32*, 347.

7 S. Suman, M. Kaleem, M. Pathak, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, *49*, 192.

8 K. Pandey, R. Chaurasiya, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, *67*, 641.

9 W. C. Dickinson, A. F. Clark, A. Iantuono, haring the sun: Solar technology in the seventies, 117–142.

10 R. Raman, S. Mantell, J. Davidson, C. Wu, G. Jorgensen, *J. Sol. Energy Eng.* 2020, *122*.

11 A. A. Ghoneim, N. Fisch, A. Ammar, E. Hahne, *Renew. 15neryy* 1993, *3*.

12 W. M. K. V. A. N. Niekerk, T. B. Scheffler, *Sol. Energy* 1993, *51*, 339.

13 G. Jorgensen, T. Williams, T. Wendelin, International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies, 26–30.

14 S. KAMARUZZAMAN, SOPIAN JAAFAR, Z. F. MOHD., YUSOF HJ. OTHMAN ACHMAD, *Renew. Energy* 1994, *4*, 561.

15 P. T. Tsilingiris, *Energy Convers. Manag.* 1999, *40*, 1237.

16 P. T. Tsilingiris, *Appl. Therm. Eng.* 2000, *20*, 1297.

17 P. T. Tsilingiris, *Energy Convers. Manag. 43* 2002, *43*, 135.

18 K. Sopian, R. Zulki, J. Sahari, M. Y. Othman, *J. Mater. Process. Technol.* 2002, *123*, 179.

19 C. Wu, S. C. Mantell, J. Davidson, *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME* 2004, *126*, 581.

20 Z. Wu, L. F. Francis, J. H. Davidson, *Sol. Energy* 2009, *83*, 636.

21 G. Martinopoulos, D. Missirlis, G. Tsilingiridis, K. Yakinthos, N. Kyriakis, *Renew. Energy* 2010, *35*, 1499.

22 A. Olivares, J. Rekstad, M. Meir, S. Kahlen, G. Wallner, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2010, *94*, 1031.

23 Z. Antar, H. Noel, J. Feller, P. Glouannec, K. Elleuch, *Mater. Sci. Forum* 2012, *714*, 115.

24 J. L. De Peña, R. Aguilar, *Energy Procedia* 2014, *57*, 2205.

25 J.-S. Gosselin, J. Raymond, S. Gonthier, M. Brousseau, J.-F. Lavoie, *Res. Conf. Proc. - IGSHPA Conf. Expo 2017* 2017, 373.

26 A. Pugsley, A. Zacharopoulos, M. Smyth, J. Mondol, *Renew. Energy* 2017.

27 S. V Asmussen, C. I. Vallo, *Sol. Energy* 2018, *174*, 640.

28 A. Pugsley, A. Zacharopoulos, M. Smyth, J. Mondol, *Renew. Energy* 2019, *137*, 2.

29 B. Chekchek, M. Salmi, A. Boursas, G. Lorenzini, H. Ahmad, Y. Menni, H. Ameur, M. Merrah, D. Fridja, *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics* 2021, *16*, 121.

30 A. Akhavan, H. Kazeminejad, F. Khoylou, N. Sheikh, *J. Nucl. Sci. Technol.* 2022, *100*, 96.

31 H. Cui, P. Wang, H. Yang, Y. Shi, *J. Energy Storage* 2022, *56*, 105890.

32 C. Zhang, K. Deng, X. Li, K. K. Fu, C. Ni, *ACS Appl. Nano Mater. 2023*, 2023, *6*, 13400−13408.

33 S. R. Sachin, A. M. Kuzmin, S. Krishnakumar, A. Jayaganthan, Y. Admassu, *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2023, *2023*, 1.