

# Análisis sistemático de avances tecnológicos a nivel global y nacional de calentadores de agua por energía solar

Gabriel Ramírez-Cortés

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
grc8703@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-1820-9295>

Efraín José Martínez-Ortiz

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
emartinezo@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0868-9047>

Claudia Lizbeth Martínez-González

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
clmartinezg@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1307-0847>

**Resumen**— Hoy en día, el uso de sistemas termodinámicos de calentamiento de agua con tecnología solar es más común y asequible, eliminando el uso de hidrocarburos, electricidad, leña o gas. Algunos de estos sistemas están diseñados para aprovechar al máximo su estructura, como los tubos de vacío, serpentines o radiadores, y los sistemas de concentración solar. La energía solar es absorbida por la superficie, lo que produce un intercambio de temperatura. México cuenta con una energía solar que podría ser una de las más importantes fuentes de energía alternativas, inagotables, de bajo costo y no contaminantes (limpias). El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio exploratorio de los avances tecnológicos a nivel mundial y nacional en calentadores solares de agua para su posible uso en México basado en una revisión de estado del arte y estado de la técnica, además del análisis con jerarquización analítica de prototipos nacionales comerciales. En la revisión de literatura destacó el material nanomejorado y fototérmico, un soporte evaporador de alta conductividad térmica, un sistema de confinamiento capilar de revestimiento fino fototérmico, una estructura bicapa de bajo costo, y materiales de cambio de fase como colectores con baja pérdida de calor. En la revisión del estado de la técnica, la patente nacional es la que más se adapta a las necesidades del país. En el análisis jerárquico de prototipos nacionales basado en la tecnología, vida útil, costo mantenimiento y eficiencia, el seleccionado fue el de colectores térmicos con tubos transparentes.

**Palabras Clave**— Energías limpias, patentes, prototipos

**Abstract**— Nowadays, the use of thermodynamic water heating systems with solar technology is more common and affordable, eliminating the use of hydrocarbons, electricity, firewood or gas. Some of these systems are designed to take full advantage of their structure, such as evacuated tubes, coils or radiators, and solar concentration systems. Solar energy is absorbed by the surface, which produces the exchange of temperature. Mexico is endowed with solar power that could be one of the most important

*alternative energy sources, inexhaustible, low-cost and non-polluting (clean). The objective of this work was to carry out an exploratory study of the technological advances at global and national level of solar water heaters for their potential use in Mexico, through the analysis of the state of the art, the analysis of the state of the technique, and the analysis of national commercial prototypes with analytical hierarchization. In the literature review, the nano-enhanced and photothermal material, a high thermal conductivity evaporator support, a capillary confinement system with a thin photothermal coating, a low-cost bilayer structure, and phase change materials as collectors with low heat loss were highlighted. In the review of the state of the art, the national patent is the one that best suits the needs of the country. In the hierarchical analysis of national prototypes based on technology, useful life, maintenance cost and efficiency, the one selected was the thermal collectors with transparent tubes.*

**Keywords**— Clean energy, patents, prototypes

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la instalación de sistemas termodinámicos de calentamiento de agua por medio de tecnología solar es popular y accesible en términos de costo, elimina el uso de hidrocarburos, electricidad, leña o gas. Algunos de estos sistemas están diseñados de modo que se pueda aprovechar al máximo su estructura, como tubos evacuados, serpentín o tipo radiador, y los de concentración solar. En todos ellos la energía solar es absorbida por la superficie que es lo que produce el intercambio de temperatura entre el agua y los rayos solares [1].

Por otro lado, el uso de equipos que utilizan recursos naturales no renovables y altamente contaminantes, aunado al incremento de la población requiere contemplar una alternativa más económica, accesible, y amigable con el medio ambiente.

México se encuentra en una zona a nivel mundial con una gran irradiación solar horizontal [2], que se puede aprovechar para el uso de sistemas termodinámicos que trabajen con base en energía solar para minimizar el uso de hidrocarburos.

En la Figura 1 se presenta la evolución de los sistemas termodinámicos de calentamiento de agua con uso de tecnología solar.

Desde el uso de sistema de espejos utilizado por los griegos en la antigüedad; los hipocaustos griegos y calderas, que es la transmisión de calor para calentar agua, hasta el sistema de colectores solares y/o paneles solares, los actuales sistemas han presentado mejoras que permiten aprovechar la captación de rayos solares para calentar el agua que se encuentra circulando por su interior.

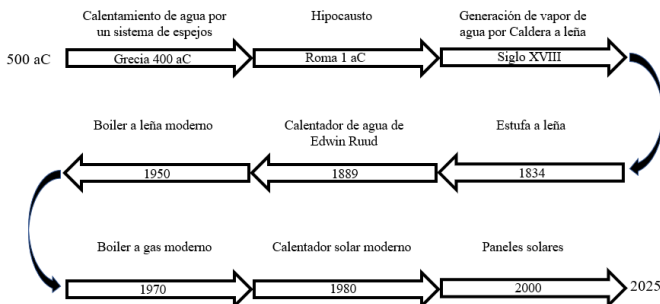


Figura 1. Evolución de los sistemas de calentamiento de agua

Algunos autores han logrado avances en la tecnología de colectores o calentadores de agua por energía solar, con nuevos diseños y nuevos materiales, aumentado la eficiencia.

La tendencia hacia el uso de energías limpias impulsa al perfeccionamiento de la tecnología para los sistemas de calentamiento de agua por energía solar.

El objetivo de este trabajo fue analizar la tecnología actual a nivel global y nacional implementada en los sistemas de calentamiento de agua por energía solar a través de una revisión del estado del arte y de la técnica, y el análisis jerárquico.

## II. METODOLOGÍA

En el presente trabajo, el análisis de la información se realizó de manera cíclica, a través de la búsqueda, selección, validación, categorización, y comparación de las fuentes de información.

En la primera fase se realizó una revisión del estado del arte. En la segunda fase se llevó a cabo una revisión del estado de la técnica con prototipos internacionales y en la tercera fase se realizó el análisis de la tecnología de prototipos nacionales comerciales basado con jerarquía analítica (Figura 2).

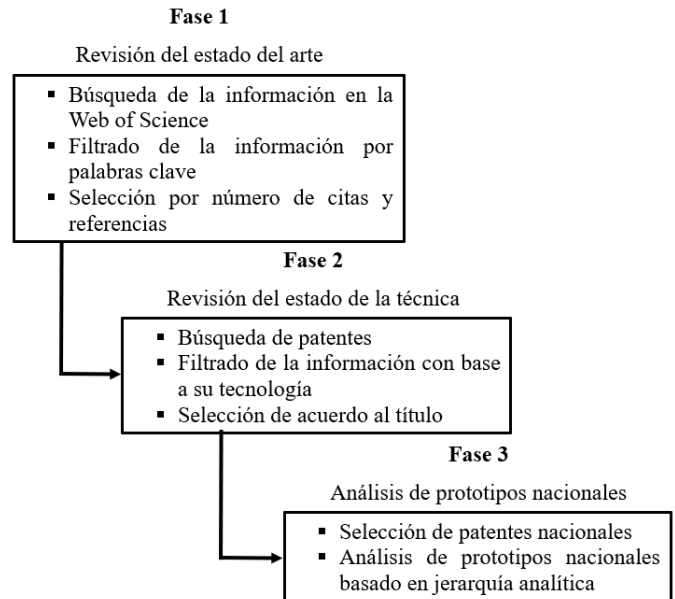


Figura 2. Metodología

### Fase 1. Revisión del estado del arte

La búsqueda se realizó en la Web of Science, con el objeto de conocer trabajos relacionados con los sistemas de calentamiento de agua por energía solar. Se usaron como palabras clave: Sistemas de calentamiento por energía solar y solar energy heating systems. Se obtuvieron 13,582 artículos.

Los criterios de inclusión fueron los siguientes: que se tratara de investigaciones empíricas y no de revisiones, estudios de caso único; que utilice tecnologías en materiales para la fabricación de sistemas de calentamiento de agua por energía solar; que se refiera a mejoras en los sistemas de calentamiento de agua por energía solar, entendido dentro del marco del enfoque sistémico; que su estudio se concentre en solucionar los problemas relacionados con sistemas de calentamiento de agua por energía solar; que se hayan publicado en el periodo comprendido entre 2020 a 2024. Los criterios de exclusión fueron las tecnologías que utilicen hidrocarburos, los estudios no orientados a mejora en la tecnología de sistemas de calentamiento de agua por energía solar; los que no se refieren a sistemas de calentamiento de agua por energía solar y aquellos que no se encuentran dentro del contexto del análisis o utilizan métodos de difícil entendimiento o interpretación. De acuerdo a lo anterior, se obtuvieron 7268 resultados, de los cuales se seleccionaron las cinco investigaciones a nivel internacional más relevantes en el tema, de acuerdo al número de citas.

Fase 2. Revisión del estado de la técnica

En la segunda fase de este análisis, se revisó el estado de la técnica y se buscaron prototipos con avances tecnológicos de sistemas de calentamiento con energía solar a nivel mundial. Se seleccionaron siete patentes con características similares.

Fase 3. Análisis de prototipos nacionales basado en jerarquía analítica

En la tercera fase se seleccionaron y compararon tres prototipos nacionales comerciales con características y tecnología similar y se realizó el análisis con jerarquía analítica. Los prototipos nacionales que se seleccionaron fueron los siguientes, Sistema 1: paneles solares de tubos capilares; el Sistema 2: colectores térmicos tubo transparente y el Sistema 3: paneles solares fotovoltaicos. Se analizaron con base a los criterios de tecnología, vida útil, costo de mantenimiento y eficiencia.

Para analizar estos prototipos, se utilizó la escala fundamental de Saaty [3]. El análisis por jerarquía analítica es una técnica que se utiliza para apoyar la toma de decisiones.

El uso de la escala fundamental de Saaty para la selección de objetivos, criterios, subcriterios y alternativas, permite jerarquizar, en este caso, para determinar cuál sería la mejor opción de los tres prototipos seleccionados, y se realizó conforme al proceso descrito en las Figuras 3 y 4.

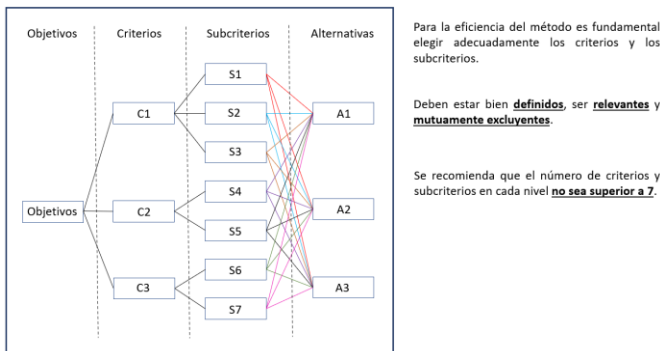


Figura 3.- Escala de Saaty para la selección de objetivos, criterios, subcriterios y alternativas

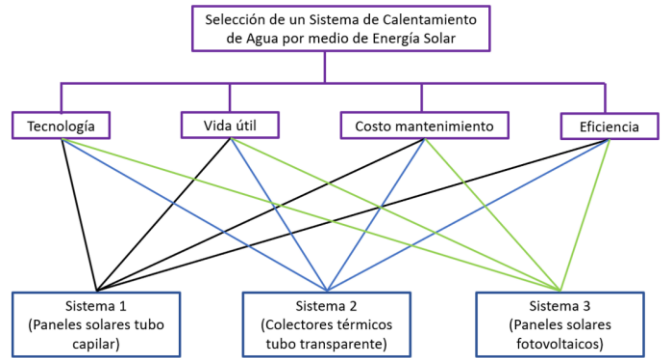


Figura 4.- Modelo Jerárquico

Se asignaron los valores de los pesos de acuerdo a la importancia.

Tabla 1.- Asignación de valores, definiciones y comentarios

Valor	Definición	Comentario
1	Igual importancia	<b>A y B</b> tienen la <b>misma</b> importancia
3	Importancia moderada	<b>A</b> es <b>ligeramente más</b> importante que <b>B</b>
5	Importancia grande	<b>A</b> es <b>más importante</b> que <b>B</b>
7	Importancia muy grande	<b>A</b> es <b>mucho más</b> importante que <b>B</b>
9	Importancia extrema	<b>A</b> es <b>extremadamente más</b> importante que <b>B</b>
2,4,6,8	Valores intermedios entre los niveles anteriores cuando se desea matizar	

Después de haber definido el modelo jerárquico se comparan los criterios del mismo nivel. Para ello se emplean matrices de comparación pareadas (Figura 5).

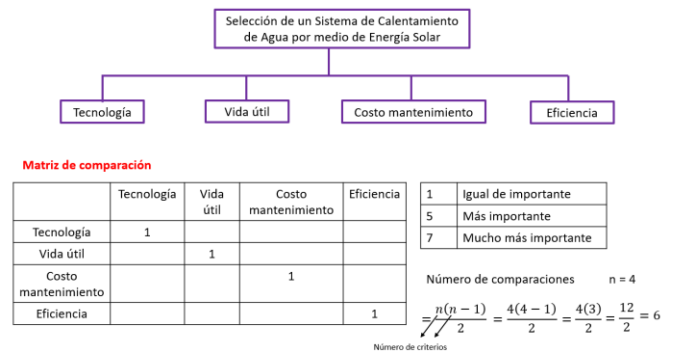


Figura 5.- Matriz de comparación pareada

El siguiente paso permite evaluar la congruencia de los juicios que se extraigan a partir de la matriz de comparaciones de criterios (Figura 6) usando la escala fundamental de Saaty.

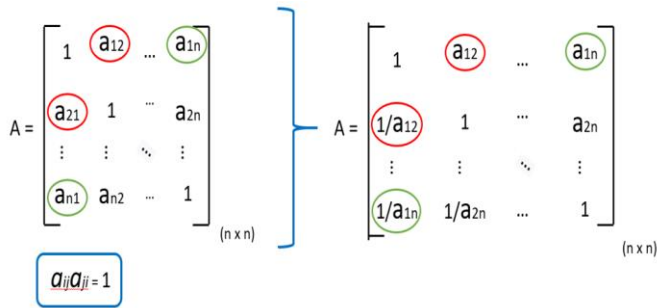


Figura 6.- Matriz y forma de comparación de criterios

Los pasos a seguir para obtener la razón de consistencia se muestran en la Figura 7. La razón de consistencia dice si los cálculos son consistentes o no.

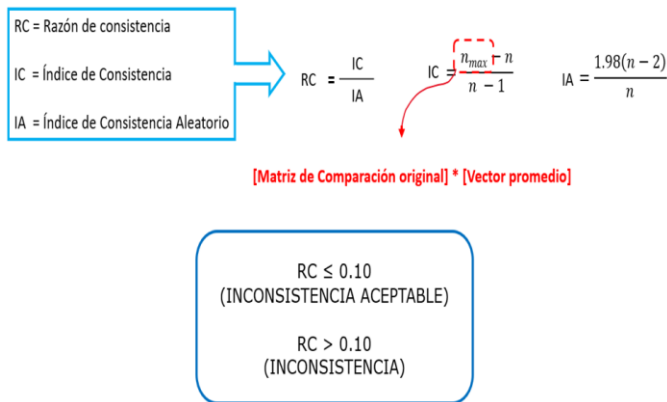


Figura 7.- Cálculo de la razón de consistencia

El quinto paso permite evaluar la congruencia de los juicios que se extraigan a partir de la matriz de comparaciones (Figura 8).

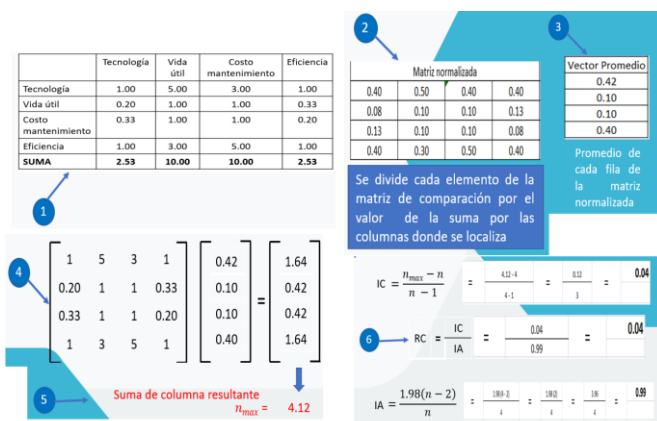


Figura 8.- Pasos para el cálculo de la razón de consistencia

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Fase 1. Revisión del estado del arte

En la Tabla 2 se muestran los trabajos seleccionados, identificando su país de origen y describiendo la tecnología. Se considera la tecnología como parte esencial para la mejora del sistema termodinámico de calentamiento de agua por energía solar, estos son trabajos similares a nivel internacional, de acuerdo a la tecnología que se refiere a la innovación, creación o mejora de las tecnologías ya existentes.

Tabla 2.- Revisión de literatura sobre calentadores de agua con energía solar

Autor	Tecnología	Número de veces citado	Número de veces referenciado	País
Cui, XM 2023	Nanomateriales fototérmicos: un potente convertidor de luz a calor. Con el desarrollo continuo de nanotecnologías avanzadas, gran variedad de nanomateriales fototérmicos ha sido dotados con excelentes capacidades de captación de luz y conversión fototérmica	448	882	República popular de China
Wang, Yida 2021	Mejorando la generación de vapor solar mediante un soporte de evaporador de alta conductividad térmica. El evaporador es un soporte de aislamiento térmico colocado entre la superficie de evaporación fototérmica y el volumen de agua. Esta configuración, común en sistemas de evaporación bidimensionales, minimiza la pérdida de calor desde la superficie de evaporación hacia el volumen de agua, localizando así el calor en la superficie.	182	56	Australia, República popular de China
Wang, Zhenxing 2021	Confinamiento capilar de revestimiento fino para refuerzo solar, con impulsor de agua evaporada. La capilaridad de confinamiento de un revestimiento fino fototérmico sobre una esponja porosa mejora significativamente la energía solar.	176	58	República popular de China
Elsheikh 2020	Estructura bicapa de bajo coste para mejorar el rendimiento solar: análisis de rendimiento/costo y predicción de rendimiento. Consta de una capa de soporte inferior hecha de material de baja conductividad térmica y baja densidad tiene una capa absorbente superior hecha de un material fototérmico con una alta capacidad de absorción de la luz solar, así como una eficiencia de conversión mejorada.	100	119	Egipto, India, Sudáfrica, Taiwán
Shoebii 2022	Materiales de cambio de fase nanomejorados en aplicaciones de energía solar. Los materiales de cambio de fase no solo ofrecen una alta capacidad de almacenamiento estos materiales, denominados nanomejorados, facilitan los procesos de carga y descarga de las unidades de almacenamiento de calor gracias a su conductividad térmica aumentada y a sus puntos de fusión reducidos.	79	141	Irán, Dinamarca

Resalta el material nanomejorado y fototérmico [4], el uso de un soporte evaporador de alta conductividad térmica [5], el sistema de confinamiento capilar de revestimiento fino fototérmico [6], la estructura bicapa de bajo costo [7], y los

materiales de cambio de fase que ayudan como colectores con muy bajas pérdidas de calor [8].

Los nanomateriales fotovoltaicos han demostrado ser potentes convertidores de luz a calor, así como el uso de material bicapa, el cual consta de una capa con alta capacidad de absorción de la luz solar y una muy eficiente conversión, energética.

*Fase 2. Revisión del estado de la técnica*

En la Tabla 3 se muestra la selección de patentes. De las siete seleccionadas, seis son de origen europeo y solamente una de México, la más actual de 2012.

**Tabla 3.-** Patentes seleccionadas a nivel mundial de calentadores de agua por energía solar

Patente	Descripción	País	Año
DE202006001353U1 2006.06.08	Depósito intermedio de agua de calefacción con sistema de carga y descarga para calentamiento de agua potable bivalente con energía solar	Alemania	2006
FR2558245A1	Instalación de calefacción solar	Francia	1984
FR2575811A1	Conjunto colector-acumulador para calentamiento de agua mediante energía solar	Francia	1985
FR2613045A1	Calentador de agua termosifón compacto con concentración	Francia	1987
GB2023807A	Colector solar con trampa para radiación infrarroja	Gran Bretaña	1979
GB2147408A	Calentador de agua solar	Gran Bretaña	1983
WO2012108752A1	Calentador solar de líquidos	México	2012

Estas patentes tienen características muy diferentes, pero coinciden en la tecnología de transferencia de calor, convierten la energía solar en calor. El primero [9] es un depósito o colector de agua con sistema de carga y descarga de agua que se utiliza en un sistema de calefacción. El segundo [10] es una instalación de calefacción solar que puede servir como guía de instalación de unidades periféricas. El tercero [11] es el conjunto de colector acumulador para calentamiento de agua mediante tecnología solar. El cuarto [12] es un colector de agua termosifón compacto con concentración. El quinto [13] tiene una trampa para radiación infrarroja que permite concentrar la radiación para incrementar la temperatura del agua. Los dos restantes [14 y 15] son calentadores de líquidos y/o agua por medio de tecnología solar, la patente de calentador de agua solar [14] esta provista de un sistema de rotación por medio de un servomecanismo que asegura la máxima absorción térmica y la patente de calentador de líquidos [15] cuenta con un panel fotovoltaico integral en el interior del calentador solar, como un auxiliar que ayuda en el calentamiento de los líquidos.

*Fase 3. Análisis de prototipos nacionales basado en jerarquía analítica*

De acuerdo a la escala de Saaty se inició con el primer paso que es la matriz de comparación para pares de criterios (Tabla 4).

**Tabla 4.-** Matriz de comparación de pares de criterios

	Tecnología	Vida útil	Costo mantenimiento	Eficiencia	Matriz normalizada				Vector promedio
Tecnología	1.00	5.00	3.00	1.00	0.40	0.50	0.40	0.40	0.42
Vida útil	0.20	1.00	1.00	0.33	0.08	0.10	0.10	0.13	0.10
Costo mantenimiento	0.33	1.00	1.00	0.20	0.13	0.10	0.10	0.08	0.10
Eficiencia	1.00	3.00	5.00	1.00	0.40	0.30	0.50	0.40	0.40
Suma	2.53	10.00	10.00	2.53					

Posteriormente se realizó la matriz de importancia de la tecnología, vida útil, costo mantenimiento y eficiencia (Tablas 5 a la 8).

**Tabla 5.-** Matriz de importancia de la tecnología

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Matriz normalizada			Vector promedio	Ponderación	
Sistema 1	1.00	0.20	0.33	0.11	0.13	0.08	0.11	Igualmente, preferible	=1
Sistema 2	5.00	1.00	3.00	0.56	0.65	0.69	0.63	Moderadamente preferible	=3
Sistema 3	3.00	0.33	1.00	0.33	0.22	0.26	0.26	Fuertemente preferible	=5
Suma	9.00	1.53	4.33						

**Tabla 6.-** Matriz de importancia de la vida útil

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Matriz normalizada			Vector promedio	Ponderación	
Sistema 1	1.00	3.00	5.00	0.65	0.69	0.56	0.63	Igualmente, preferible	=1
Sistema 2	0.33	1.00	3.00	0.22	0.23	0.33	0.23	Moderadamente preferible	=3
Sistema 3	0.20	0.33	1.00	0.13	0.08	0.11	0.11	Fuertemente preferible	=5
Suma	1.53	4.33	9.00						

**Tabla 7.-** Matriz de importancia del costo mantenimiento

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Matriz normalizada			Vector promedio	Ponderación	
Sistema 1	1.00	1.00	3.00	0.43	0.43	0.43	0.43	Igualmente, preferible	=1
Sistema 2	1.00	1.00	3.00	0.43	0.43	0.43	0.43	Moderadamente preferible	=3
Sistema 3	0.33	0.33	1.00	0.14	0.14	0.14	0.14	Fuertemente preferible	=5
Suma	2.33	2.33	7.00						

**Tabla 8.-** Matriz de importancia de la eficiencia

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Matriz normalizada			Vector promedio	Ponderación	
Sistema 1	1.00	3.00	0.20	0.16	0.50	0.12	0.26	Igualmente, preferible	=1
Sistema 2	0.33	1.00	0.50	0.05	0.17	0.29	0.17	Moderadamente preferible	=3
Sistema 3	5.00	2.00	1.00	0.79	0.33	0.59	0.57	Fuertemente preferible	=5
Suma	6.33	6.00	1.70						

En la Tabla 9 se presenta la matriz del sistema seleccionado, en la que se observa la comparación de sistemas y criterios. El sistema seleccionado es aquel con mayor calificación total obtenida en la matriz que es la suma y el promedio total de los criterios en este ejercicio, en este caso, es el Sistema 2, por haber obtenido la mayor calificación.

Tabla 9.- Matriz del sistema seleccionado

	Tecnología	Vida útil	Costo mantenimiento	Eficiencia	Total
Sistema 1	0.11	0.63	0.43	0.26	0.26
Sistema 2	0.63	0.26	0.43	0.17	0.40
Sistema 3	0.26	0.11	0.14	0.57	0.36
Ponderación	0.42	0.10	0.10	0.40	

El aprovechamiento de la radiación solar que incide en el territorio nacional también es de vital importancia para el aprovechamiento de estos sistemas de calentamiento de agua por energía solar. Los paneles solares de tubo capilar, así como los fotovoltaicos y los colectores térmicos de tubos transparentes son los más comerciales a nivel nacional pero el último es el de mayor uso residencial.

La tecnología del Sistema 2 (colectores térmicos con tubos transparentes) es mejor que la tecnología de los sistemas 1 (paneles solares tubo capilar) y 3 (paneles solares fotovoltaicos). Con respecto a la vida útil el sistema 1 tiene una mayor vida útil que los sistemas, 2 y 3. Con respecto al costo de mantenimiento es menor en el sistema 3 ya que incluye piezas o partes que solo necesitan de un bajo mantenimiento a comparación con los Sistemas 1 y 2. Con respecto a la eficiencia del sistema 3 tiene una mayor eficiencia que los Sistemas 1 y 2, por su sistema fotovoltaico.

El sistema seleccionado en este ejercicio es el Sistema 2 (colectores térmicos con tubos transparentes) por haber obtenido la mayor calificación.

#### IV. CONCLUSIONES

En la Fase 1, para la revisión de literatura, destaca el material nanomejorado y fototérmico, el uso de un soporte evaporador de alta conductividad térmica, el sistema de confinamiento capilar de revestimiento fino fototérmico, la estructura bicapa de bajo costo, y los materiales de cambio de fase que ayudan como colectores con muy bajas pérdidas de calor.

En la Fase 2, sobre la revisión del estado de la técnica, dadas las características que presenta la patente nacional, y la similitud que tiene con respecto de las nuevas tecnologías es la que más se adapta a las necesidades del país.

Para la Fase 3, sobre el análisis jerárquico de prototipos nacionales basado en la tecnología, vida útil, costo mantenimiento y eficiencia, aunque en los tres sistemas se presentan características similares, el seleccionado fue el basado en colectores térmicos con tubos transparentes.

#### REFERENCIAS

- [1] Estrada Gasca CA. (2013). Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista Mexicana de Física*, 59.
- [2] The World Bank, Solar resource data: Solargis. (2018). Mapas de recursos solares de México. Obtenido de <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/mexico>
- [3] Merino-Benítez, T. y L. A., & Bojórquez-Tapia. (2021). *Manual Proceso Analítico Jerárquico (AHP)*. México: UNAM.
- [4] Cui, X., & Ruan, Q. (2023). Photothermal Nanomaterials: A Powerful Light-to-Heat Converter. *Chemical Reviews*, 123(11), 6891-6952. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00159>
- [5] Wang, Y., & Wu, X. (2021). Enhancing solar steam generation using a highly thermally conductive evaporator support. *Science Bulletin*, 66, 2479-2488. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.09.018>
- [6] Wang, Z., & Wu, X. (2021). Confinement Capillarity of Thin Coating for Boosting Solar-Driven Water Evaporation. *Advanced Functional Materials* 31. <https://doi-org.bibliotecaipn.idm.oclc.org/10.1002/adfm.202011114>
- [7] Elsheikh, A. H., & Shanmugan, S. (2022). Low-cost bilayered structure for improving The performance of solar stills: Performance/cost analysis and water yield prediction using machine learning. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101783>
- [8] Shoeibi, S., & Kargarsharifabad, H. (2022). A comprehensive review of nano-enhanced phase change materials on solar energy applications. *Journal of Energy Storage*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104262>
- [9] Kremer, R. (08 - junio - 2006). Germany Patente n° DE202006001353U1. <https://patents.google.com/patent/DE202006001353U1/en?q=DE202006001353U1>
- [10] Serras Paulet, E. (19 - juillet - 1958). République Francaise Patente n° FR2558245A1. <https://patents.google.com/patent/FR2558245A1/fr?q=FR2558245A1>
- [11] Boissonnet, F. (09 - janvier - 1985). République Francaise Patente n° FR2575811A1. <https://patents.google.com/patent/FR2575811A1/fr?q=FR2575811A1>
- [12] Giol, L. (25 - mars - 1987). République Francaise Patente n° FR2613045A1. <https://patents.google.com/patent/FR2613045A1/fr?q=FR2613045A1>
- [13] Aranovitch, E., Farfaletti-Casali, F., & Gunter, P. (22 de junio de 1978). United Kingdom Patente n° GB2023807A. <https://patents.google.com/patent/GB2023807A/en?q=GB2023807A>
- [14] Maglaras, D. (4 - October - 1983). United Kingdom Patente n° GB2147408A. <https://patents.google.com/patent/GB2147408A/en?q=GB2147408A>
- [15] Muñoz Ruiz, A. (16 de Agosto de 2012). México Patente n° WO2012108752A1. <https://patents.google.com/patent/WO2012108752A1/es?q=WO2012108752A1>