

RETOS ACTUALES Y FUTUROS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

CURRENT AND FUTURE CHALLENGES FOR THE UTILIZATION OF SOLAR ENERGY

GONZÁLEZ CALVILLO, Jesús Rodolfo

AGUILERA GONZÁLEZ, Elsa Nadia

RESUMEN

El uso extensivo de combustibles fósiles ha generado impactos ambientales significativos, lo que ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía alternativas capaces de sustituirlos. Entre éstas, la energía solar ha surgido como una opción particularmente prometedora. En este estudio, se realizó una revisión de la literatura para evaluar el aprovechamiento de la energía solar como fuente limpia, así como los desafíos asociados a su implementación. Los diferentes tipos de energía solar y sus capacidades actuales fueron examinados de manera sistemática. Asimismo, se realizó un análisis de los principales desafíos y complejidades relacionados con su implementación a gran escala en aplicaciones cotidianas.

Palabras clave: energía solar; celdas solares; energía sustentable.

Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Autónoma de
Coahuila, Saltillo, Coahuila,
México.

ABSTRACT

The extensive use of fossil fuels has led to significant environmental impacts, thereby driving the search for alternative energy sources to replace them. Among these, solar energy has emerged as a particularly promising option. In this study, a comprehensive literature review was conducted to evaluate the use of solar energy as a clean energy source and the challenges associated with its implementation. The different types of solar energy and their current capacities were systematically examined. Furthermore, the principal challenges and complexities related to its large-scale deployment in everyday applications were analyzed.

Keywords: solar energy; solar cells; sustainable energy

Correspondencia
elsaaguilera@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6289-5992>
Fecha de recepción
19 de noviembre de 2025.
Fecha de aceptación
17 de febrero de 2026.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía mundial y la necesidad urgente de mitigar el cambio climático han impulsado una transición hacia fuentes de energía renovables. En este contexto, la energía solar se ha posicionado como una de las alternativas más prometedoras debido a su abundancia, su amplia distribución geográfica y su bajo impacto ambiental durante su operación (International Energy Agency [IEA], 2023; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022). En las últimas décadas, los avances en tecnologías fotovoltaicas y termosolares han permitido una reducción significativa de los costos y un incremento sostenido de la capacidad instalada a nivel global (IEA, 2023).

No obstante, a pesar de su rápido crecimiento, el aprovechamiento eficiente y sostenible de la energía solar enfrenta diversos retos. Desde el punto de vista tecnológico, persisten limitaciones asociadas a la eficiencia, la estabilidad y la degradación de los materiales, así como a la disponibilidad de materias primas críticas (Green y col., 2022). Además, la intermitencia inherente a la radiación solar plantea desafíos para su integración en redes eléctricas convencionales y subraya la necesidad de soluciones de almacenamiento de energía a gran escala (Lund y col., 2015). Por otra parte, estudios recientes destacan la importancia de evaluar el impacto ambiental de los sistemas solares a lo largo de su ciclo de vida, incluyendo la fabricación y el reciclaje de módulos (Jordan - Kurtz, 2013).

Dado el crecimiento exponencial de la literatura en este campo, resulta pertinente realizar una revisión bibliográfica que sintetice los principales avances y desafíos actuales. El presente artículo analiza los retos sociales, económicos, políticos, técnicos y ambientales del aprovechamiento de la energía solar, e identifica líneas de investigación prioritarias para su desarrollo futuro.

ENERGÍA SOLAR

La energía solar para la generación de electricidad ha cobrado especial interés por sus ventajas y características únicas. El uso del sol como motor

energético es una fuente ilimitada, accesible en la mayoría de las regiones y que no genera subproductos en su aprovechamiento.

Existen dos metodologías principales para la conversión de la radiación solar en electricidad: la energía solar fotovoltaica (FV) y la energía termosolar (o energía solar térmica de concentración) (Kumar Dalapati y col., 2023). Aunque ambas comparten la misma fuente primaria, sus principios operativos difieren significativamente. Mientras que la tecnología fotovoltaica utiliza el efecto fotoeléctrico, la energía termosolar opera de manera análoga a las centrales convencionales; es decir, aprovecha el calor del sol para alimentar un ciclo termodinámico que, mediante el movimiento de turbinas, produce energía eléctrica (Müller-Steinhagen y Trieb, 2004).

La energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la radiación solar mediante sistemas de calentamiento que utilizan espejos o dispositivos de concentración (Figura 1), llamados heliostatos, que concentran los rayos del sol para calentar un fluido, generalmente agua o sales fundidas (Mahmoud y col., 2026). El calentamiento de este fluido permite generar vapor de agua, que impulsa turbinas conectadas a un generador eléctrico. En este proceso, el movimiento, del rotor dentro del generador produce electricidad por inducción electromagnética. Entre las ventajas de la energía termosolar se encuentra la posibilidad de seguir generando electricidad incluso después de la puesta del sol. Esta característica representa una ventaja frente a los sistemas fotovoltaicos, cuya operación depende directamente de la radiación solar.

En este sentido, el principio de conversión energética de la energía termosolar es análogo al empleado en la mayoría de las plantas energéticas tradicionales. Las principales limitaciones de esta tecnología se relacionan con la eficiencia en la captación y concentración de la radiación solar. Debido a esto, las plantas termosolares suelen desarrollarse a gran escala y se implementan principalmente como plantas energéticas estatales o industriales. Países como España y Estados Unidos han adoptado esta tecnología, aprovechando las regiones desérticas con alta irradiación solar para instalar plantas termosolares. Por otro lado, China se ha consolidado como uno de los países con mayor inversión en energías renovables a nivel mundial, lo que ha favorecido el crecimiento y la expansión de las instalaciones termosolares, en paralelo al desarrollo de la tecnología fotovoltaica.





Figura 1. Planta termosolar Ivanpah, E.U.A. (TECPA 2021)

Además de los sistemas de aprovechamiento térmico de la radiación solar, otra de las tecnologías más ampliamente desarrolladas es la energía fotovoltaica. Esta energía se basa en el aprovechamiento del efecto fotovoltaico (Green, 1993), fenómeno que se basa en el efecto fotoeléctrico. Este efecto ocurre cuando los electrones en la banda de valencia de un material semiconductor son excitados por la radiación luminosa, adquiriendo suficiente energía como para superar la banda prohibida (band gap) y pasar a la banda de conducción. La excitación de estos electrones de la banda de valencia a la banda de conducción genera huecos con carga positiva (Chopra y col., 2004), en la banda de valencia y electrones negativos en la banda de conducción, produciendo una diferencia de potencial que puede ser aprovechada para generar corriente eléctrica (Figura 2).

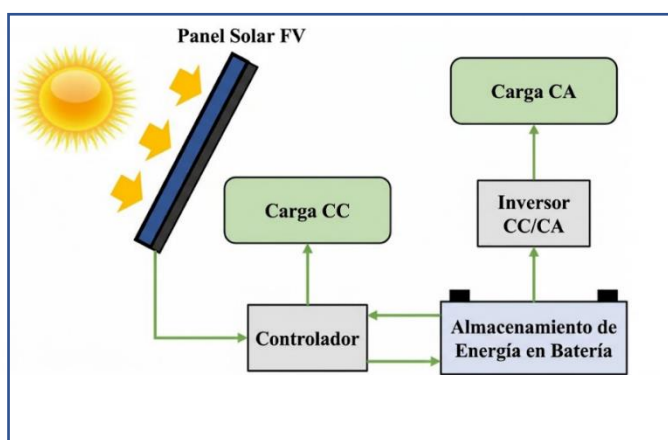


Figura 2. Sistema fotovoltaico solar (Al-Ali y col., 2025)

El uso de la tecnología de celdas solares ha aumentado significativamente con el tiempo, gracias a su implementación en plantas solares en numerosos países (Figura 3). Solo durante 2023, la capacidad de producción instalada de paneles solares alcanzó un récord de 407 GW, elevando la capacidad total mundial a 1.6 TW (Renewable Energy Agency, 2024). China fue responsable del 53% del total mundial en ese mismo año, destacando por su liderazgo en la expansión de la energía solar.

La energía solar se utiliza a escala industrial, como en sistemas de generación distribuida. A nivel industrial, se implementa en grandes plantas o parques solares, como, por ejemplo, el Parque Solar Villanueva en México ubicado a cercanías de Torreón Coahuila, con una generación de 754 MW siendo el parque solar más grande de Latinoamérica. De manera complementaria, esta tecnología también se aplica en sistemas de generación distribuida instalados en y a escala distribuida, ya sea en hogares y oficinas. Una de sus limitantes más grandes del uso de la tecnología solar para la producción de energía, es el alto costo de producción e instalación (Seyisi y col., 2025), estimado en 650 millones de dólares para el caso del parque Villanueva. No obstante, estos costos se han reducido considerablemente año con año, lo que ha facilitado una adopción más amplia tanto a nivel industrial como doméstico mediante la instalación de paneles solares en hogares, oficinas y edificios (Al-Ali y col., 2025).

Además, países como el Reino Unido y Bélgica han implementado incentivos fiscales, incluyendo la reducción o eliminación de impuestos sobre estas tecnologías con el objetivo de fomentar su adopción (Chadly y col., 2024). En cuanto a los costos de esta tecnología, el costo nivelado de energía (LCOE) de un parque solar se estima en 39 USD/MWh, sin embargo, se estima que para 2035 caerá un 35% según BloombergNEF.

Para el funcionamiento de estas tecnologías se emplean diversos materiales especializados que requieren un manejo específico. En el caso de las celdas solares fotovoltaicas, es indispensable el uso de materiales semiconductores capaces de convertir la energía luminosa en energía eléctrica. Entre los materiales más utilizados destacan distintas formas cristalinas de silicio (Si) debido a su gran eficiencia, alta abundancia y estabilidad (Green, 1993). No obstante, a pesar de sus características, se han implementado diversos materiales y aleaciones a base de elementos potencialmente tóxicos para el ambiente y el ser humano.



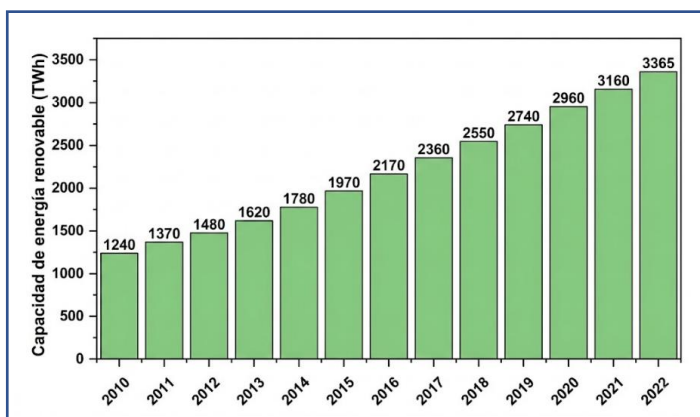


Figura 3. Adaptación de la energía renovable a nivel mundial (Hassan y col., 2023).

RETOS

RETOS ACTUALES

Aunque la energía solar se ha consolidado a nivel global como una alternativa viable para la transición hacia sistemas energéticos sostenibles, su adopción a gran escala enfrenta desafíos críticos. Estos factores sociales, económicos, políticos, técnicos y ambientales actúan como cuellos de botella que dificultan la transición energética integral (Nagaraja y col., 2025).

RETOS SOCIALES

En el ámbito social, la implementación se ve obstaculizada principalmente por limitaciones financieras y espaciales. En Jordania, por ejemplo, Al-Habaibeh y col. (2023) identificaron que las barreras legales (60%) y los riesgos de seguridad (26%) son las principales razones que frenan el uso doméstico (Al-Habaibeh y col., 2023).

Por otro lado, en Arabia Saudita, la escasez de productos asequibles en los mercados formales ha llevado a los sectores rurales al comercio informal, exponiendo a las comunidades vulnerables a tecnología falsificada o de baja calidad (Chanda y col., 2025). Además, el alto valor de los equipos ha

derivado en problemas de inseguridad y robo en diversas regiones (Abdul Qadir y col., 2026).

Finalmente, la falta de planeación territorial es evidente en asentamientos de rápido crecimiento, como el campamento Kigeme en Ruanda, donde la inestabilidad del terreno y las lluvias estacionales han comprometido el drenaje de las centrales eléctricas (Nixon y col., 2021).

RETOS ECONÓMICOS

El despliegue industrial de celdas solares se ve limitado en múltiples países por la falta de capital privado o estatal (Kumar Dalapati y col., 2023; Agbogla y col., 2025). En regiones de alta demanda y baja incidencia solar, como el Ártico finés, donde el 70% del consumo anual se destina a la calefacción, la baja radiación entre noviembre y marzo exige una sobredimensión crítica de los sistemas para garantizar el rendimiento (Shekar y col., 2026).

Los proyectos de gran tamaño requieren una inversión masiva que no se limita a la instalación, sino que abarca el desarrollo, la implementación y el mantenimiento a largo plazo, lo que hace indispensable el respaldo financiero público y privado (Asare-Addo, 2026; Salim y col., 2026).

RETOS POLÍTICOS

La industria fotovoltaica requiere no solo incentivos, sino también estabilidad normativa (Wu y col., 2023). La alternancia de administraciones en Estados Unidos, por ejemplo, ha generado incertidumbre debido a agendas que priorizan los combustibles fósiles y retrasan la inversión en energías limpias (Zhang, 2026).

En Arabia Saudita, las inconsistencias regulatorias generan desconfianza entre los inversionistas (Hassan y col., 2023), mientras que en Ghana existe el temor de que las políticas "verdes" afecten directamente los ingresos de las empresas eléctricas estatales, lo que frena la voluntad política de cambio (Akrofi y col., 2024).

RETOS TÉCNICOS

A pesar de los avances en eficiencia y ergonomía, la implementación comercial de prototipos de última generación sigue siendo una meta lejana



(Wu y col., 2026). Las tecnologías actuales presentan limitaciones en entornos extremos (alta salinidad, corrosión, temperaturas extremas o radiación intensa), donde el equipo sufre una degradación acelerada y requiere un mantenimiento costoso (Ukoba y col., 2024). Asimismo, la gestión de residuos y el fin de vida útil de los paneles exigen protocolos especializados para evitar la contaminación de suelos y acuíferos en regiones áridas (Asif y col., 2025; Mirnezami y col., 2025).

RETOS AMBIENTALES

Paradójicamente, la fabricación de ciertas tecnologías, especialmente las de capa delgada, implica procesos de minería y manufactura que emplean compuestos químicos tóxicos para la salud humana y los ecosistemas (Energy Agency, 2023). Si bien el silicio cristalino es la opción de menor impacto, la búsqueda de costos más bajos ha impulsado el uso de elementos peligrosos como plomo, telurio y selenio (Drygała y col., 2012). Actualmente, la investigación se centra en materiales alternativos más seguros y económicos, como los perovskitas y los semiconductores orgánicos, buscando una tecnología verdaderamente sustentable (Green, 1993).

CONCLUSIONES

Se ha reportado que la energía solar fotovoltaica es una de las energías renovables más utilizadas a nivel mundial, gracias a su mayor eficiencia energética frente a los combustibles fósiles. Esto ha llevado a un aumento exponencial en el uso de celdas solares y plantas termosolares para la generación de energía a nivel industrial y doméstico. Estas tecnologías, a su vez, presentan retos y dificultades, por lo cual se sigue investigando el aumento de la eficiencia, metodologías de síntesis más eficientes y materiales más económicos, accesibles y verdes. El uso de estas tecnologías, combinado con el estancamiento y la reducción del uso de combustibles fósiles, ha provocado un cambio gradual en múltiples países, por lo que se percibe un cambio total a la energía solar para el 2050.

REFERENCIAS

- Abdul Qadir, S., Ali, A., Islam, M. T., Shahid, M., & Ahmed, S. (2026). Critical success factors for large-scale solar projects: Insights for Saudi Arabia's energy transition. in *Cleaner Energy Systems*, 13: 100234. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2026.100234>
- Agbogla, J., Sekyere, C. K. K., Forson, F. K., Opoku, R., & Baah, B. (2025). Soiling estimation methods in solar photovoltaic systems: Review, challenges and future directions. In *Results in Engineering*, 26: 104810. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104810>
- Akrofi, M. M., Okitasari, M., & McLellan, B. C. (2024). Socio-technical challenges and prospects of residential solar PV diffusion in Ghana: Insights from regime and intermediary actors. *Energy Research and Social Science*, 118: 103772. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103772>
- Al-Ali, S., Olabi, A. G., & Mahmoud, M. (2025). A review of solar photovoltaic technologies: developments, challenges, and future perspectives. In *Energy Conversion and Management: X*, 27: 101057. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101057>
- Al-Habaibeh, A., Al-haj Moh'd, B., Massoud, H., Nweke, O. B., Al Takrouri, M., & Badr, B. E. A. (2023). Solar energy in Jordan: Investigating challenges and opportunities of using domestic solar energy systems. *World Development Sustainability*, 3: 100077. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100077>
- Asare-Addo, M. (2026). Wind and solar energy intermittency: The silver lining. *Results in Engineering*, 29: 108275. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108275>
- Asif, M., Sharieff, R., Olawale, M., & Khan, M. I. (2025). Unlocking the potential of unregulated rooftops for solar PV on residential buildings: Identifying and addressing key challenges. *Energy Nexus*, 18: 100447. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100447>
- Chadly, A., Moawad, K., Salah, K., Omar, M., & Mayyas, A. (2024). State of global solar energy market: Overview, China's role, Challenges, and Opportunities. In *Sustainable Horizons*, 11: 100108. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2024.100108>
- Chanda, H., Mohareb, E., Peters, M., & Harty, C. (2025). "The solar E-waste challenge: A zambian case study of informal disposal, counterfeit technologies and low literacy." *Journal of Environmental Management*, 395: 127618. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127618>
- Chopra, K. L., Paulson, P. D., & Dutta, V. (2004). Thin-film solar cells: An overview. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12(2-3): 69-92. <https://doi.org/10.1002/pip.541>

- Drygała, A., Dobrzański, L. A., Giedroć, M., & Macek, M. (2012). Monocrystalline silicon solar cells applied in photovoltaic system. *Archives of Materials Science and Engineering*, 53(1):7-13. <https://www.researchgate.net/publication/289642017>
- Energy Agency, I. (2023). *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach - 2023 Update*. www.iea.org/t&c/
- Green, M. A. (1993). Silicon solar cells: Evolution, high-efficiency design and efficiency enhancements. In *Semiconductor Science and Technology*, 8(1): 1-12. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/8/1/001>
- Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications. In *Results in Engineering*, 20: 101621. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621>
- Kumar Dalapati, G., Ghosh, S., Sherin P A, T., Ramasubramanian, B., Samanta, A., Rathour, A., Kin Shun Wong, T., Chakraborty, S., Ramakrishna, S., & Kumar, A. (2023). Maximizing solar energy production in ASEAN region: Opportunity and challenges. *Results in Engineering*, 20: 101525. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101525>
- Mahmoud, M., Adhari, O. H. K., Abdelkareem, M. A., & Olabi, A. G. (2026). Hybrid solar-geothermal energy systems: Technological developments, challenges, and scientific research dynamics. *Thermal Science and Engineering Progress*, 71: 104589. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2026.104589>
- Mirnezami, S. A., Huda, N., Saidur, R., & Strezov, V. (2025). A comprehensive review in pursuit of optimal solar performance: Nanofluids, solar hybrid systems, and challenges ahead. In *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 81: 104420. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.104420>
- Müller-Steinhagen, H. and Trieb, F. (2004). Concentrating solar power: A review of the technology, *Royal Academy of Engineering Ingenia*, 18: 43-50. https://www.researchgate.net/publication/394525918_Multi-effect_Desalination_Powered_by_Concentrated_Solar_Power_A_review
- Nagaraja, M. R., Biswas, W. K., & Selvan, C. P. (2025). Advancements and challenges in solar photovoltaic technologies: enhancing technical performance for sustainable clean energy – A review. In *Solar Energy Advances*, 5: 100084. <https://doi.org/10.1016/j.seja.2024.100084>
- Nixon, J. D., Bhargava, K., Halford, A., & Gaura, E. (2021). The challenges of community-based solar energy interventions: Lessons from two Rwandan Refugee Camps. *Energy for Sustainable Development*, 65: 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.07.007>
- SALIM, A., REHMAN, S. U., ABDULKAWI, W. M., & AHMED, H. Y. (2026). Overcoming barriers to solar energy adoption in Pakistan: Current status, policy gaps, and institutional

reforms. *Results in Engineering*, 29: 108537. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108537>

Seyisi, T., Fouda-Mbanga, B. G., Mnyango, J. I., Nthwane, Y. B., Nyoni, B., Mhlanga, S., Hlangothi, S. P., & Tywabi-Ngeva, Z. (2025). Major challenges for commercialization of perovskite solar cells: A critical review. In *Energy Reports* 13: 1400–1415. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.01.019>

Shekar, V., Calò, A., & Pongrácz, E. (2026). Optimising solar energy communities in arctic micro-communities: addressing building azimuth challenges in Finnish Lapland. *Renewable Energy Focus*, 57: 100798. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2025.100798>

Tecpa. (10 de febrero, 2021). *La central de energía termosolar más grande del mundo*. <https://www.tecpa.es/central-energia-termosolar-mas-grande/>

Ukoba, K., Yoro, K. O., Eterigho-Ikelegbe, O., Ibegbulam, C., & Jen, T. C. (2024). Adaptation of solar energy in the Global South: Prospects, challenges and opportunities. In *Heliyon*, 10: 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28009>

Wu, S., Liu, M., & Jen, A. K. Y. (2023). Prospects and challenges for perovskite-organic tandem solar cells. In *Joule*, 7(3): 484–502. Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.02.014>

Wu, T., Gao, X., Liu, Z., Liu, X., Hao, X., & Zhang, M. (2026). The recycling of perovskite solar cells: progress, challenges and opportunities. *Science Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2026.02.003>

Zhang, Y. (2026). Solar PV in the 21st century: Aligning technological growth with sustainability. In *Next Energy*, 10: 100499. <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2025.100499>