



El bombeo solar fotovoltaico: una tecnología para el desarrollo rural comunitario

Photovoltaic solar pumping: a technology for rural community development

Oscar Brown Manrique¹

<https://orcid.org/0000-0003-3713-3408>

Ernesto Raúl Gutiérrez Alarcón¹

<https://orcid.org/0009-0003-5708-7151>

Anisley Macías Machado¹

<https://orcid.org/0009-0002-1569-7165>

Maiquel Lopez Silva²

<https://orcid.org/0000-0002-0946-6160>

¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba

²Universidad Católica Sedes Sapientiae, Lima, Perú

obrown@unica.cu egalarcon07@gmail.com

anisley27@gmail.com mlopezs@ucss.edu.pe

Recibido: 2024/11/25 Aceptado: 2025/02/24 Publicado: 2025/03/17

Resumen

Introducción: El bombeo solar fotovoltaico es una solución sostenible para abastecer agua en zonas rurales, utilizando energía limpia y reduciendo costos operativos. Esta tecnología permite convertir la energía solar en electricidad para accionar bombas que extraen y distribuyen el agua. **Objetivo:** analizar la tecnología de bombeo solar fotovoltaico como una solución tecnológica viable y sostenible para el abastecimiento de agua en comunidades rurales y remotas del mundo. **Método:** la investigación emplea el paradigma cualitativo con base en métodos del nivel teórico como el analítico-sintético, el histórico-lógico y el inductivo-deductivo; así como el método empírico de análisis documental. **Resultados:** el análisis del tema permite aseverar que el uso en este tipo de sistema con base en una fuente de energía renovable contribuye a la independencia del Sistema Electroenergético Nacional y a reducir significativamente los costos de mantenimiento; aunque sus limitaciones se



relacionan con la dependencia de la radiación solar, el alto costo inicial y la necesidad de personal capacitado. La implementación exitosa requiere un diseño adecuado, considerando la demanda y disponibilidad de agua, el dimensionamiento de los equipos y la integración con sistemas de almacenamiento y distribución. **Conclusión:** diversos estudios de caso han demostrado los beneficios de la tecnología de bombeo solar fotovoltaico en comunidades rurales, mejorando la seguridad alimentaria, la calidad de vida y el medio ambiente. La sostenibilidad a largo plazo depende de aspectos socioeconómicos y de gestión como la participación comunitaria y la capacitación de operadores.

Palabras clave: capacitación; mantenimiento; panel fotovoltaico; sostenibilidad

Abstract

Introduction: photovoltaic solar pumping is a viable and sustainable technological solution for water supply in rural and remote communities. This technology allows solar energy to be converted into electricity to power pumps that extract and distribute water. **Objective:** analyze photovoltaic solar pumping technology as a viable and sustainable technological solution for water supply in rural and remote communities around the world. **Method:** the research uses the qualitative paradigm based on theoretical level methods such as analytical-synthetic, historical-logical and inductive-deductive; as well as the empirical method of documentary analysis. **Results:** the analysis of the topic allows us to assert that the use of this type of system based on a renewable energy source contributes to the independence of the National Electroenergy System and to significantly reduce maintenance costs; although its limitations are related to the dependence on solar radiation, the high initial cost and the need for trained personnel. Successful implementation requires an adequate design, considering the demand and availability of water, the sizing of the equipment and the integration with storage and distribution systems. **Conclusion:** various case studies have demonstrated the benefits of solar photovoltaic pumping technology in rural communities, improving food security, quality of life and the environment. Long-term sustainability depends on socioeconomic and management aspects such as community participation and operator training.



Keywords: maintenance; photovoltaic panel; sustainability; training

Introducción

El acceso al agua potable en regiones rurales y remotas sigue siendo un desafío global, especialmente por la falta de infraestructura eléctrica y sistemas de distribución convencionales. El bombeo solar fotovoltaico ha surgido como una solución prometedora, con antecedentes que se remontan a la década de 1970, cuando se implementaron los primeros proyectos piloto en países en desarrollo (Chandel et al., 2015). Desde entonces, esta tecnología ha evolucionado y se ha expandido, beneficiando a comunidades aisladas en diversas regiones.

En Kenia, por ejemplo, los sistemas de bombeo solar han mejorado significativamente el acceso al agua en zonas rurales (Ortiz, 2022). En la India, más de 100 000 bombas solares han beneficiado a millones de personas (Purohit y Purohit, 2010). Organizaciones internacionales como el Banco Mundial, UNICEF y la FAO han promovido esta tecnología en programas de desarrollo rural (Karekezi y Kithyoma, 2002).

En Cuba, el uso de bombeo solar fotovoltaico se ha desarrollado desde la década de 1990, aunque persisten desafíos como la inestabilidad energética, el acceso limitado a servicios y la falta de conocimientos para gestionar recursos (Pérez Gutiérrez, 2024). La gestión sostenible de las fuentes renovables de energía es prioritaria en la agenda política cubana, con impactos en comunidades rurales de difícil acceso (Pérez Gutiérrez *et al.*, 2021).

En la provincia de Ciego de Ávila, se han implementado proyectos de bombeo solar para riego agrícola y abastecimiento de agua, liderados por la Universidad de Ciego de Ávila y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado (Beltran Perez *et al.*, 2024). Aunque su implementación es aún limitada, existe un gran potencial para su expansión, dada la alta radiación solar y las limitaciones de la red eléctrica en zonas rurales (ONEI, 2020). La experiencia acumulada en otras regiones del país respalda su mayor difusión en Ciego de Ávila.

La investigación bibliográfica analiza el bombeo solar fotovoltaico como solución factible y ecológica para el abastecimiento de agua en comunidades rurales,



describiendo su funcionamiento, componentes, ventajas y limitaciones. Presenta casos exitosos en Kenia e India, destacando su impacto en el acceso al agua, productividad agrícola y calidad de vida. Aborda consideraciones de diseño, como evaluación de demanda, dimensionamiento e integración con sistemas de almacenamiento. También analiza aspectos socioeconómicos, gestión comunitaria, capacitación y financiamiento. Incluye experiencias en Ciego de Ávila, Cuba donde se resalta su viabilidad técnica y sostenibilidad para zonas rurales.

El objetivo del trabajo consiste en analizar la tecnología de bombeo solar fotovoltaico como una solución tecnológica viable y sostenible para el abastecimiento de agua en comunidades rurales y remotas del mundo.

Desarrollo

Los sistemas de bombeo con energía solar fotovoltaica son fundamentales para el desarrollo rural. Estos sistemas proporcionan agua para riego, consumo humano y ganadería. Además, mejoran la productividad agrícola, la seguridad alimentaria y la calidad de vida; por lo que por una parte reducen la dependencia de combustibles fósiles, los costos operativos y el impacto ambiental y por la otra fomentan la autonomía energética y promueven el desarrollo económico local. Se trata de una solución viable frente al cambio climático y la escasez hídrica que contribuye al progreso y sostenibilidad de las comunidades rurales.

Tecnología de bombeo solar fotovoltaico

El bombeo solar fotovoltaico ha emergido como una solución tecnológica para el abastecimiento de agua en muchas comunidades rurales y remotas del mundo. Esta tecnología aprovecha la energía solar para accionar bombas que extraen y distribuyen el agua, sin depender de la red eléctrica convencional. Los sistemas de bombeo solar fotovoltaico se basan en la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos. Estos paneles captan la radiación solar y la transforman en corriente eléctrica continua, la cual se utiliza para alimentar una bomba que extrae y bombea el agua desde una fuente subterránea o superficial (Chandel *et al.*, 2015).



El principio de funcionamiento se puede resumir de la siguiente manera: los paneles solares fotovoltaicos absorben la radiación solar y generan electricidad en forma de corriente continua. Un controlador de carga o inversor convierte la corriente eléctrica continua en corriente alterna, si es necesario, para alimentar la bomba. La bomba, accionada por la energía eléctrica proveniente de los paneles solares, extrae el agua de la fuente y la bombea hacia el sistema de almacenamiento o distribución. El sistema puede incluir dispositivos de almacenamiento, como baterías o tanques, para garantizar el suministro de agua incluso en períodos de baja radiación solar.

Los principales componentes de un sistema de bombeo solar fotovoltaico son:

- Paneles solares fotovoltaicos: convierten la energía solar en electricidad.
- Bomba de agua: puede ser de tipo sumergible, de superficie o de pozo profundo.
- Controlador de carga: regula la carga y descarga de las baterías.
- Inversor (opcional): convierte la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna para alimentar la bomba.
- Baterías (opcional): almacenar la energía eléctrica para su uso en períodos de baja radiación solar.
- Estructura de soporte: sostiene y orienta adecuadamente los paneles solares.
- Tuberías y accesorios: conectan la bomba con la fuente de agua y el sistema de distribución.

Las ventajas de la tecnología de bombeo solar fotovoltaico son las siguientes:

- Utiliza la energía solar, una fuente de energía inagotable y sostenible, sin generar emisiones contaminantes (Bautista Alcantara *et al.*, 2022).
- Permite el abastecimiento de agua sin depender de la red eléctrica convencional, lo que es particularmente útil en zonas rurales remotas (Chandel *et al.*, 2015).
- Una vez instalados, los sistemas de bombeo solar fotovoltaico tienen costos de mantenimiento y operación muy reducidos (Gopal *et al.*, 2013).
- Los componentes, especialmente los paneles solares, tienen una vida útil prolongada, lo que garantiza su sostenibilidad (Posada Hortelano, 2023).
- Pueden diseñarse sistemas de bombeo FV a medida, según las necesidades y las condiciones específicas de cada comunidad (Alata Rey *et al.*, 2023).



Las limitaciones de la tecnología de bombeo solar fotovoltaico son las siguientes:

- El rendimiento de los sistemas está sujeto a la disponibilidad de radiación solar, lo que puede generar fluctuaciones en el suministro de agua (Chandel *et al.*, 2015).
- La instalación de un sistema de bombeo solar FV puede tener un costo más alto en comparación con otras tecnologías convencionales (Purohit y Purohit, 2010).
- Aunque los costos de mantenimiento son bajos, se requiere personal capacitado para las tareas de mantenimiento y reparación (Bautista Alcantara *et al.*, 2022).
- La incorporación de baterías para el almacenamiento de energía aumenta la complejidad y el costo del sistema (Simbaña Tejada *et al.*, 2024).
- En algunos casos, puede ser necesario ajustar la capacidad del sistema de bombeo para satisfacer las fluctuaciones en la demanda de agua (Gopal *et al.*, 2013).

Aplicaciones del bombeo solar FV en comunidades rurales

La tecnología de bombeo solar fotovoltaico ha surgido como una solución prometedora para mejorar el acceso al agua en comunidades rurales. A nivel internacional, se han implementado sistemas de bombeo solar en diversas regiones, demostrando su eficacia y sostenibilidad. En Kenia, por ejemplo, esta tecnología ha mejorado significativamente el acceso al agua potable en zonas remotas. Un estudio de Alata Rey *et al.* (2023) destacó que el éxito de estos sistemas depende de factores como la selección adecuada de componentes, el mantenimiento regular y la participación comunitaria para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

En la India, se han instalado más de 100 000 bombas solares fotovoltaicas, beneficiando a millones de personas en áreas rurales (Purohit y Purohit, 2010). Estos sistemas han demostrado ser una alternativa eficiente y confiable para el abastecimiento de agua, especialmente en regiones con limitaciones de infraestructura eléctrica convencional.

En Tanzania, un estudio realizado por Posada Hortelano (2023) en Iringa, una región con agricultura de subsistencia y escaso acceso a tecnología, implementó soluciones de pequeña escala que combinaron almacenamiento de agua, sistemas de irrigación solar fotovoltaico, cambios en los patrones de cultivo y fortalecimiento



comunitario. Estas iniciativas mejoraron la gestión del agua, aumentaron la producción agrícola, fortalecieron la resiliencia climática y mejoraron la seguridad alimentaria.

Investigaciones de Chandel et al. (2015), Gopal et al. (2013) y Karekezi y Kithyoma (2002) identificaron factores clave para el éxito de estos sistemas: diseño y dimensionamiento adecuados, mantenimiento y capacitación, participación comunitaria, modelos de financiamiento y su integración con infraestructura de almacenamiento y distribución de agua, lo que mejora la eficiencia y confiabilidad del suministro. Estos casos demuestran que el bombeo solar fotovoltaico es una herramienta viable para abordar desafíos hídricos y energéticos en comunidades rurales.

Consideraciones de diseño y selección

La implementación exitosa de sistemas de bombeo solar fotovoltaico en comunidades rurales requiere un diseño y selección de componentes cuidadosos. El primer paso es evaluar la demanda de agua y la disponibilidad de la fuente hídrica. Según Gopal *et al.* (2013), esta evaluación debe considerar el número de beneficiarios, patrones de consumo, usos del agua (doméstico, riego, ganadería) y variaciones estacionales. Además, se debe analizar la profundidad, caudal y calidad de la fuente para garantizar su adecuación. Phiri *et al.* (2023) destacan que una evaluación precisa es fundamental para ajustar los sistemas a las necesidades reales y optimizar los recursos hídricos.

El siguiente paso es dimensionar correctamente los componentes del sistema, como paneles solares, bomba y sistema de almacenamiento. Chandel *et al.* (2015) enfatizan que el dimensionamiento adecuado de los paneles solares es decisivo para satisfacer la demanda de bombeo, considerando la radiación solar, la potencia de la bomba y las pérdidas del sistema. La selección de la bomba debe basarse en el caudal, altura manométrica y eficiencia energética. Posada Hortelano (2023) señala que una bomba con rendimiento óptimo mejora la eficiencia global. Asimismo, Chiluzza Briones y Bravo Contreras (2023) resaltan que el dimensionamiento adecuado de sistemas de almacenamiento, como baterías o tanques, es fundamental para garantizar la continuidad del servicio.



La integración con infraestructura de almacenamiento y distribución es fundamental para la eficiencia y sostenibilidad. Valverde Granja et al. (2022) destacan que los tanques de almacenamiento permiten desacoplar la producción de energía solar y el consumo de agua, aumentando la confiabilidad del suministro. La integración con redes de distribución facilita el acceso al agua en áreas más extensas, beneficiando a más personas.

Aspectos socioeconómicos y de gestión

La implementación de sistemas de bombeo solar fotovoltaico en comunidades rurales ha demostrado tener un impacto positivo en la calidad de vida y el desarrollo de estas poblaciones. Al mejorar el acceso al agua potable, estas tecnologías contribuyen a la satisfacción de necesidades básicas y generan una serie de beneficios socioeconómicos.

Phiri *et al.* (2023) encontraron en un estudio realizado en comunidades rurales que el acceso a agua de mejor calidad a través de sistemas de bombeo solar fotovoltaico mejora la salud, la nutrición y la higiene de los habitantes. Esto se debe a la reducción de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada y a la mayor disponibilidad de agua para usos domésticos.

Salamanca Falla *et al.* (2024) resaltan que un sistema agrivoltaico es un enfoque estratégico e innovador para combinar la energía renovable con la producción agrícola; por lo que recomienda realizar un análisis más profundo de este sistema para comprender su viabilidad económica y su compatibilidad con los principales cultivos agrícolas. Sobre la base de resultados investigativos se ha obtenido que en los diseños propuestos para el sistema agrivoltaico, la rentabilidad esperada es positiva de hasta 9 %, con una recuperación de la inversión a mediano plazo.

Por su parte Aguay Saquicaray (2024) en un estudio realizado para evaluar la eficiencia energética de sistemas de energía solar fotovoltaica comprobó que los factores locales como la radiación solar, la temperatura y la altitud influyen en el rendimiento de estos sistemas. Los resultados revelaron que la adaptación de la tecnología a estas condiciones específicas es esencial para optimizar el rendimiento y que la energía solar es efectiva en la reducción de costos operativos y en la mejora de



la sostenibilidad, al ofrecer ahorros económicos y disminuir la dependencia de combustibles fósiles.

Purohit y Purohit (2010) destacan la importancia de involucrar a diversos actores, como gobiernos, organizaciones no gubernamentales y el sector privado, en el diseño e implementación de estos proyectos. La colaboración entre múltiples partes interesadas puede facilitar el acceso a recursos, conocimientos técnicos y redes de distribución, lo que contribuye a una implementación más efectiva y sostenible. La participación activa de las comunidades rurales en todo el proceso de implementación de los sistemas de bombeo solar fotovoltaico es fundamental para garantizar su aceptación y sostenibilidad a largo plazo.

Asimismo, la capacitación de los operadores locales en el mantenimiento y reparación de los sistemas de bombeo solar fotovoltaico es crucial para garantizar su funcionamiento continuo. Chandel *et al.* (2015) resaltan que este tipo de capacitación técnica, junto con el apoyo de los proveedores y el acceso a repuestos, mejora la autonomía y la sostenibilidad de estos sistemas a nivel comunitario.

La literatura revisada destaca varias tendencias básicas en el uso de sistemas de bombeo solar fotovoltaico para el abastecimiento de agua en comunidades rurales; estas son: creciente interés en esta tecnología como solución sostenible y viable para zonas remotas, especialmente en regiones con alta radiación solar; importancia de un diseño y dimensionamiento adecuados, considerando la demanda de agua, la disponibilidad de recursos hídricos y las condiciones locales; necesidad de integrar estos sistemas con infraestructura de almacenamiento y distribución para mejorar su eficiencia y confiabilidad; relevancia de la participación comunitaria, la capacitación técnica y modelos de financiamiento innovadores para garantizar la sostenibilidad a largo plazo y la consolidación de esta tecnología como una herramienta esencial para el desarrollo rural sostenible con impactos positivos en la calidad de vida, la productividad agrícola y la adaptación al cambio climático.

Conclusiones

El bombeo solar fotovoltaico es una solución sostenible y efectiva para el abastecimiento de agua en comunidades rurales. Sistemas de este tipo se han



implementado desde la década de 1990, con experiencias destacadas en provincias como Ciego de Ávila. Esta tecnología convierte la energía solar en electricidad, aunque presenta limitaciones como la dependencia de la radiación solar y los costos iniciales. A nivel mundial, ha demostrado eficiencia operacional y energética en zonas rurales. Para su éxito, es crucial evaluar la demanda y disponibilidad de agua, dimensionar correctamente los componentes e integrar sistemas de almacenamiento y distribución. Su implementación mejora la calidad de vida y el desarrollo comunitario, pero requiere modelos de financiamiento, participación activa de las comunidades y capacitación de operadores locales para garantizar su sostenibilidad.

Referencias Bibliográficas

- Aguay Saquicaray, D. C. (2024). Evaluación de la eficiencia energética de sistemas de energía solar fotovoltaica en diferentes condiciones climáticas. *MQR Investigar*, 8(3), 4993-5016.
- Alata Rey, J. E., Zingg Rosell, A. F., Orellana Pardave, J. A. y Altamirano Chunga, L. A. (2023). La energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo para acueductos: una revisión sistemática. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(12), 257-269.
- Bautista Alcantara, R. E., Espinoza Canaza, F., Barrena Gurbillón, M. A. y Gosgot Angeles, W. (2022). Rendimiento de sistema fotovoltaico autónomo de 500 Wp bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas, Amazonas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(1), 57-65.
- Beltran Perez, Y., Brown Manrique, O. B., Mendez Jurjo, N. y Álvarez Sevilla, I. (2024). Modeling of solar radiation for the photovoltaic pumping system in sprinkler irrigation. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 33(4), 1-5.
- Chandel, S. S., Nagaraju Naik, M. y Chandel, R. (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084-1099.
- Chiluiza Briones, V. H. y Bravo Contreras, J. A. (2023). Implementación de un sistema fotovoltaico para abastecer de energía a un sector rural del Golfo de Guayaquil



- mediante el análisis de carga y simulación por software. Polo del Conocimiento: *Revista científico profesional*, 8(2), 1647-1679.
- Gopal, C., Mohanraj, M., Chandramohan, P. y Chandrasekar, P. (2013). Renewable energy source water pumping systems-A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 351-370.
- Karekezi, S. y Kithyoma, W. (2002). Renewable energy strategies for rural Africa: is a PV-led renewable energy strategy the right approach for providing modern energy to the rural poor of sub-Saharan Africa? *Energy Policy*, 30(11-12), 1071-1086.
- Oficina Nacional de Estadística e Información [ONEI]. (2020). *Anuario Estadístico de Cuba 2019, Capítulo 16: Energía y Combustibles*. Oficina Nacional de Estadística e Información.
- Ortiz, T. H. (2022). *Diseño e implementación de un captador solar tipo CPC para desinfección de agua aplicado a comunidades rurales* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/2929>
- Pérez Gutiérrez, R. (2024). San Narciso, por un desarrollo local con apoyo de las fuentes renovables de energía. *TERRA: Revista de Desarrollo Local*, (14), 120-136.
- Pérez Gutiérrez, R., Echevarría Gómez, M. C., Medina Echevarría, A., Barrera Cardoso, E. L. y Núñez Jover, J. (2021). Las fuentes renovables de energía en tres comunidades rurales de Cuba. Límites y oportunidades. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(6), 109-122.
- Phiri, E., Rowley, P. N., y Blanchard, R. E. (2023). Addressing Challenges in Delivering Sustainable Rural Water Provision Using Solar Water Pumping in Malawi: A Stakeholder Analysis. *Energies*, 16(23), 7758. <https://doi.org/10.3390/en16237758>
- Posada Hortelano, G. (2023). *Abastecimiento de agua y energía en la rehabilitación de dos canales de riego en Iringa, Tanzania* [Tesis de Maestría, Universidad



Politecnica de Madrid].

https://oa.upm.es/74809/3/TFM_Posada_Hortelano_Gonzalo.pdf

Purohit, P., y Purohit, N. (2010). Techno-economic evaluation of concentrating solar power generation in India. *Energy Policy*, 38(6), 3015-3029.

Salamanca Falla, C. H., Babativa Torres, J. S., y Bahamon Sáenz, A. D. (2024). Viabilidad económica de los sistemas agrivoltaicos en Colombia. *Semestre Económico*, 27(62), 1-20.

Simbaña Tejada, G. A., Cedeño, J., Torre, S. de la y Fonseca, R. (2024). Sistema de Riego por Goteo para Invernaderos Utilizando Energía Fotovoltaica. *Revista Ingeniería e Innovación del Futuro*, 3(2), 52-66.
<https://editorialscientificfuture.com/index.php/riif/article/view/78/204>

Valverde Granja, A., Vargas Galván, G. A., García Arboleda, M. y Díaz Figueroa, J. E. (2022). Impacto de la implementation del sistema de riego con energía solar en cultivos de limón. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 14(2), 90-107.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de los contenidos y no realice modificación de la misma.

Cite este artículo como:

Brown Manrique, O., Gutiérrez Alarcón, E.R., Macías Machado, A. y López Silva, M. (2025). El bombeo solar fotovoltaico: una tecnología para el desarrollo rural comunitario. *Universidad & ciencia*, 14(1), 189-200.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8811>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15000469>