

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i12.0115>

LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO PARA ACUEDUCTOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY IN AQUEDUCT PUMPING SYSTEMS: A SYSTEMATIC REVIEW

Alata-Rey Josué Eliezer ¹; Zingg-Rosell Augusto Felipe ²;
Orellana-Pardave José Antonio ³; Altamirano-Chunga Luis Alberto ⁴

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
Correo: jalata@lamolina.edu.pe. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1531-8516>

² Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
Correo: azingg@lamolina.edu.pe. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7841-169X>

³ Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
Correo: aorellana@lamolina.edu.pe. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1357-0833>

⁴ Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
Correo: laltamirano@lamolina.edu.pe. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9265-2713>

Resumen

En la búsqueda de soluciones sostenibles para el suministro de agua, la aplicación de la energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo para acueductos se perfila como una solución sostenible y amigable con el medioambiente. El presente estudio tuvo como objetivo explorar la integración de la energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo de agua, para lo cual se realizó una revisión de los artículos publicados entre los años 2022 al 2023, en español e inglés, a través de una búsqueda en las bases de datos Scopus y Scielo. Se procesaron un total de 718 artículos mediante un procedimiento de filtrado en dos tiempos, iniciando con una revisión a título y resumen, y finalizando con una revisión a texto completo. Se incluyeron 11 investigaciones en el presente estudio, de las cuales se presentan los resultados, tecnologías implementadas, país de origen y año de publicación. Los resultados indicaron que el principal entorno de investigación fue la agroindustria; asimismo, las tecnologías implementadas combinan elaboración de sistema de distribución de agua y la programación de controladores especializados. Se concluye que el estudio de la integración de la energía solar en los sistemas de bombeo de agua busca lograr una mayor eficiencia energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles y lograr sistemas autónomos de costos reducidos.

Palabras clave: energía solar, fuente de energía renovable, bombas de agua, equipos hidráulicos.

Abstract

In the search for sustainable solutions for water supply, the application of photovoltaic solar energy in pumping systems for aqueducts emerges as an environmentally friendly and sustainable solution. The aim of this study was to explore the integration of photovoltaic solar energy into water pumping systems, for which a review of articles published from 2022 to 2023 was conducted in both Spanish and English, using a search in the Scopus and Scielo databases. A total of 718 articles were processed through a two-stage filtering procedure, starting with a review of titles and abstracts and ending with a full-text review. Eleven studies were included in this study, presenting results, implemented technologies, country of origin, and year of publication. The results indicated that the main research environment was agribusiness, and the implemented technologies involved the development of water distribution systems and the programming of specialized controllers. It is concluded that the study of integrating solar energy

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 17 de marzo de 2023.

Fecha de aceptación: 29 de junio de 2023.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2023.

into water pumping systems aims to achieve greater energy efficiency, reduce dependence on fossil fuels, and establish autonomous systems with reduced costs.

Keywords: solar energy, renewable energy source, water pumps, hydraulic equipment.

1. Introducción

Las fuentes de energía tradicionales se están agotando días tras día, mientras que la demanda de energía y las preocupaciones ambientales van en constante aumento, lo cual ha desencadenado una intensa investigación en busca de tecnologías nuevas y eficientes. Frente a la necesidad de nuevas fuentes energéticas, el sol se perfila como un importante proveedor para satisfacer la mayoría de las necesidades globales de consumo de energía; esto lo convierte en una fuente de energía limpia y sostenible (Aguilar-Jiménez et al., 2023; Angadi et al., 2021; Mustafa & Malik, 2023).

Utilizar la energía solar a través de la generación fotovoltaica puede considerarse una opción rentable debido a su precio económico (Benítez Leyva et al., 2014; Margeta & Durin, 2017). Actualmente, la energía solar alimenta desde farolas, hasta calentadores de agua utilizando paneles solares (un conjunto de celdas fotovoltaicas). En

ese sentido, depender de fuentes de energía renovable para abastecer hogares y negocios es un paso crucial para mitigar los efectos del cambio climático y el calentamiento global (Alhawsawi et al., 2023; Durin et al., 2017). Por otro lado, las fuentes de energía renovable son recursos importantes para países con grandes poblaciones que carecen de acceso a la red eléctrica estándar (Gevorkov et al., 2023; Ibraheam & Aslan, 2023).

En la búsqueda constante de soluciones sostenibles para abordar los desafíos asociados con el suministro de agua, la integración de tecnologías innovadoras se ha convertido en una prioridad, y la aplicación de la energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo para acueductos ha emergido como una opción prometedora, ya que fusiona la eficiencia de la captura de energía solar con la necesidad de garantizar el acceso fiable al agua potable de forma sostenible y amigable con el medioambiente (Angadi et al., 2021;

Gevorkov et al., 2023; Ibraheam & Aslan, 2023).

Este enfoque no solo busca mitigar la dependencia de fuentes convencionales de energía, sino también busca abordar las crecientes preocupaciones sobre el impacto ambiental asociado con las prácticas de bombeo tradicionales. La convergencia de la energía solar y los sistemas de bombeo de agua representa un campo de investigación impulsado por la necesidad de desarrollar soluciones energéticamente eficientes y sostenibles que satisfagan las demandas crecientes de agua en comunidades urbanas y rurales (Hmidet et al., 2021; Mindú et al., 2021; Saady et al., 2021).

Por lo expuesto, esta investigación se propone explorar la integración de la energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo de agua, destacando sus beneficios y el impacto positivo en la sostenibilidad del suministro de agua.

2. Materiales y métodos

Para la presente revisión se seleccionaron estudios publicados entre los años 2022 y 2023

incluyendo trabajos redactados en español e inglés; a su vez, se priorizaron las investigaciones disponibles en revistas de acceso abierto. La búsqueda se realizó en las bases de datos Scielo y Scopus. El proceso de selección de artículos se realizó a través del software Rayyan (Ouzzani et al., 2016); además, para asegurar la pertinencia de los estudios se realizó un proceso de selección usando un filtro en dos tiempos: primero se realizó un filtro por título y resumen, seguido por un cribado a texto completo. Los datos extraídos fueron los siguientes: autor, país, año, contexto de aplicación, tecnología utilizada y resultados obtenidos.

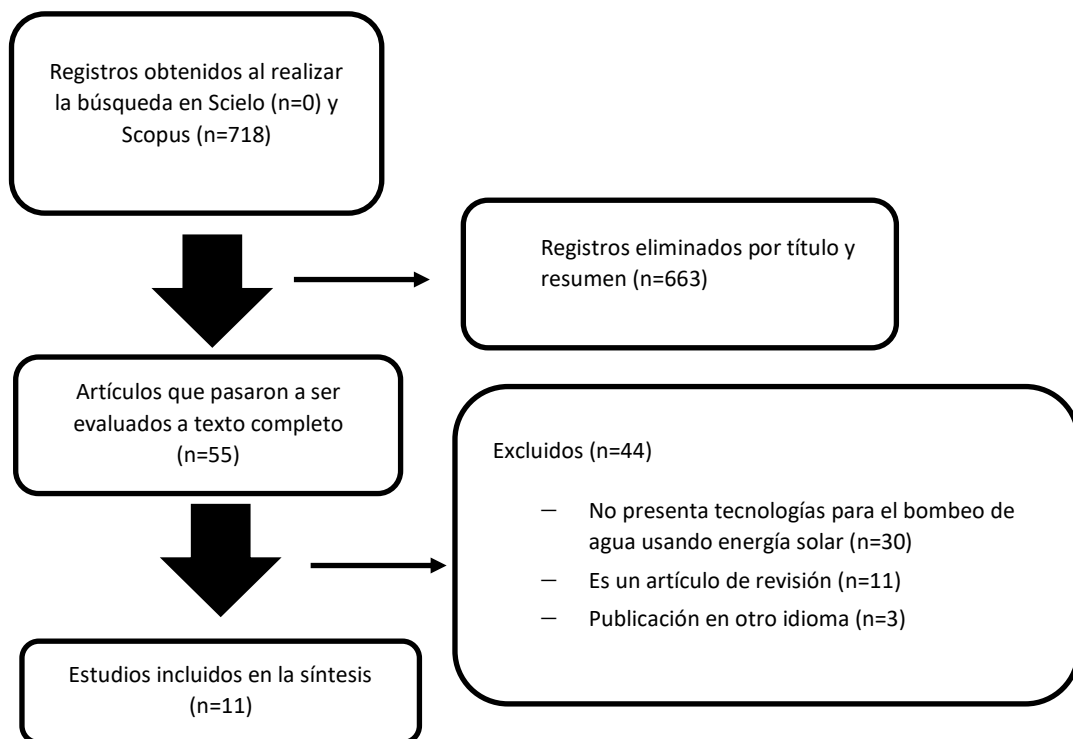
3. Resultados y discusión

La búsqueda de artículos en Scopus y Scielo se realizó utilizando los términos "energía solar fotovoltaica", "solar PV", "sistemas de bombeo de agua", "bombeo de agua", "acueductos" en español, y "Solar Photovoltaic", "Solar PV", "Photovoltaic Energy", "Water Pumping Systems", "Water Pumping" y "Aqueducts" en inglés. La búsqueda en Scopus presentó 14

002 resultados, mientras que en Scielo obtuvo 3 resultados; de estos, luego de realizar un filtrado por año, idioma y tipo de acceso, quedaron 718 estudios en Scopus, mientras

que en Scielo no quedaron resultados. Luego del proceso de filtrado se obtuvo 11 estudios para el análisis. El proceso de filtrado completo se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Proceso de filtrado de artículos



Nota. Autoría propia.

Con relación a los resultados observados por cada estudio, el uso de energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo se pudo optimizar utilizando métodos

diversos. Los resultados de las investigaciones encontradas y sus respectivos autores se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del uso de energía solar en sistema de bombeo de agua

Autor	Resultado
(Carricondo-Antón et al., 2023)	Aumento del 27 % en el volumen bombeado anual incrementando el número de bombas en paralelo de una a cinco, lo que supuso una reducción del 44,1 % en el tamaño del generador fotovoltaico y una reducción del 13,3 % en el coste de instalación en comparación con un sistema con una sola bomba.
(Mahinda et al., 2023)	Los resultados de simulación obtenidos muestran que el uso de un controlador óptimo da como resultado una reducción del costo de energía en un 44,4 %, frente a un control manual. Se observó una mejor

	utilización de la energía fotovoltaica renovable en un 24 % y se bombeó un 3,6 % más de agua.
(Zhou <i>et al.</i> , 2023)	Los hallazgos de la investigación experimental demuestran que el sistema propuesto puede generar electricidad y calor con alta eficiencia durante el invierno y las estaciones de transición, con un rendimiento estable a largo plazo. El COPt de calefacción medio del sistema es de 5 durante la temporada de transición y de 4,4 durante la temporada de invierno. Asimismo, la eficiencia energética fotovoltaica promedio en ambas condiciones climáticas es del 11,9 % y 10,2 %, con un valor máximo del 15,7 % y 12,0 %, respectivamente. Además, el rango de variación de la relación de compresión del sistema es de 2 a 3,88, que es inferior al del sistema de bomba de calor estándar.
(Artal-Sevil <i>et al.</i> , 2023)	La disminución del coste de las placas fotovoltaicas ha provocado el sobredimensionamiento del conjunto fotovoltaico y la eliminación del sistema de almacenamiento de energía (normalmente basado en baterías de plomo-ácido) en muchas instalaciones rurales. Siempre considerando que no existen problemas de espacio en el entorno rural. Al no disponer de un sistema de almacenamiento de energía, estas instalaciones son muy sensibles a los tránsitos por las nubes. Los sucesivos procesos de arranque y parada brusca (provocados por los trenes de nubes) son la principal causa de degradación y rotura de las bombas de agua en estas instalaciones rurales.
(Navarro-González <i>et al.</i> , 2023)	Al adoptar el algoritmo propuesto, el riego seguirá un calendario de rotación rígido para seguir el nuevo plan. Este enfoque mejora estudios anteriores al emplear un algoritmo de programación de mínimos cuadrados con poco tiempo de cálculo.
(Artal-Sevil <i>et al.</i> , 2023)	Se presenta el modelo de un sistema fotovoltaico autónomo de bombeo directo de agua para riego. Paralelamente, se han analizado los efectos del tránsito de las nubes sobre el sistema fotovoltaico. Su comportamiento ha sido comprobado en condiciones de arranque, estacionarias y dinámicas (días soleados y nublados).
(Kar <i>et al.</i> , 2023)	Este artículo presenta una topología de convertidor elevador PFC sin puente para reducir las pérdidas de conducción, aumentando así la eficiencia y obteniendo un factor de potencia casi unitario, así como una menor distorsión armónica total (THD) de la corriente de entrada.
(Nisha & Sheela, 2022)	Los resultados de la simulación para varios patrones de sombreado demuestran la supremacía del sistema con respecto a la velocidad de convergencia, eficiencia de seguimiento, robustez, oscilaciones de estado estacionario en el punto de máxima potencia y oscilaciones de exploración inicial en comparación con sistemas sin control de un ciclo. Además, la introducción de un convertidor KY como convertidor CC-CC reduce la ondulación del voltaje de salida en el sistema. Por tanto, el sistema propuesto con control de un ciclo supera las desventajas de los métodos existentes y puede utilizarse eficazmente para aplicaciones de bombeo de agua.
(Hilali <i>et al.</i> , 2022)	Los hallazgos de este estudio revelan que con esta adaptación (DC-DC y algoritmo) se duplica la eficiencia energética de las bombas de agua.
(Kumar <i>et al.</i> , 2022)	Los resultados del estudio de caso muestran que con el uso de SPV-WPS, ya sea con o sin subsidio, el agricultor podría ganar un mínimo del 250 % de la inversión con una vida útil del proyecto de 25 años.

(Oliver et al., 2022)	El convertidor LUO entrelazado supera a los otros dos convertidores con los resultados de una relación de ganancia de voltaje de 1:22, una eficiencia de conversión del 98,3 % y una THD de corriente de red del 2,9 %. Además, en cuanto al aspecto de calidad eléctrica, la distorsión armónica total de la corriente de la red se mantiene por debajo del estándar IEEE-519. A su vez, el sistema desarrollado tiene la ventaja de funcionar tanto en modo autónomo como conectado a la red.
-----------------------	---

Nota. Autoría propia.

Los resultados, en general, coinciden en que el uso de sistemas de energía solar a través de paneles fotovoltaicos presentan desafíos de desempeño, ya que se ven afectados por las oscilaciones del clima y las estaciones; sin embargo, estos desafíos pueden ser superados a través de tecnologías como configuraciones de

controladores, uso de bombas en paralelo, configuraciones de soporte, y sistemas de optimización y eficiencia energética, que permitan mayor autonomía, lo que se refleja en una transición a energías limpias, eficientes, económicas y una consecuente reducción de la huella de carbono. Las tecnologías y el contexto se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tecnologías aplicadas al uso de energía solar en sistemas de bombeo de agua

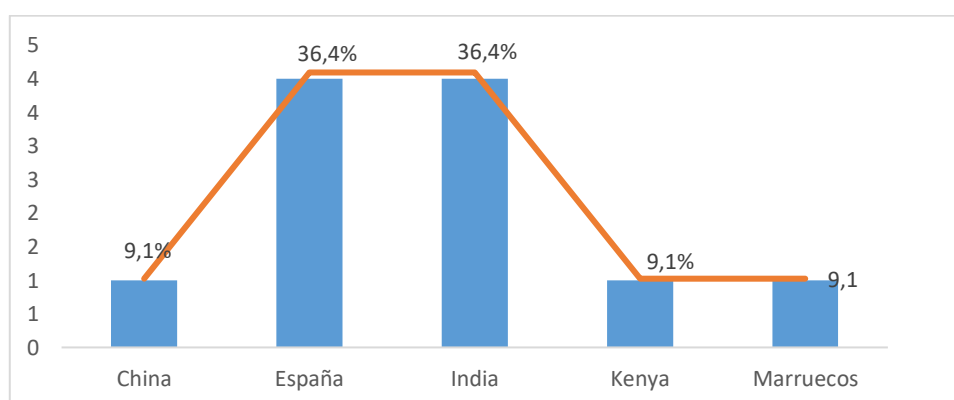
Autor	Tecnología	Contexto
(Carricondo-Antón et al., 2023)	Bombas en paralelo	Agroindustria
(Mahinda et al., 2023)	Controlador automático	Agroindustria
(Zhou et al., 2023)	Híbrido de bomba fotovoltaica térmica	Calefacción doméstica
(Artal-Sevil et al., 2023)	Sistema de bombeo de agua autónomo fotovoltaico	Agroindustria
(Navarro-González et al., 2023)	Algoritmo de optimización	Agroindustria
(Artal-Sevil et al., 2023)	Sistema de bombeo de agua autónomo fotovoltaico	Agroindustria
(Kar et al., 2023)	Convertidor elevador corregido	Agroindustria
(Nisha & Sheela, 2022)	Seguimiento de máxima potencia mediante control de un ciclo	Agroindustria
(Hilali et al., 2022)	Adaptador DC-DC con algoritmo genérico	Agroindustria

(Kumar <i>et al.</i> , 2022)	Sistema de bombeo de agua fotovoltaico	Agroindustria
(Oliver <i>et al.</i> , 2022)	Convertidor DC-DC con algoritmo de optimización	Agroindustria
<i>Nota. Autoría propia</i>		

Los sistemas de bombeo de agua impulsados por energía solar han sido estudiados, en su mayoría, dentro del contexto de la agroindustria, esto debido a que en este rubro es prioritario mantener un sistema confiable de riego, y la demanda de agua es un factor crítico para obtener una producción constante. Además, como las granjas pertenecen a zonas rurales distantes, suele ser frecuente el uso de bombas impulsadas por motores de combustión, de fácil acceso, pero contaminantes y con mayor costo en el largo plazo. Por ello, en múltiples estudios los objetivos son dirigidos a obtener mayor eficiencia energética, reducir los gastos en paneles solares

y aumentar la fiabilidad de los sistemas de bombeo, así como a reflejar el potencial ahorro a largo plazo que representa para el agricultor o la comunidad el uso de energía solar en el bombeo de agua para el riego y las demandas de la granja. Por otro lado, un solo estudio evalúa el uso de bombas de agua como parte de un sistema integrado de calefacción doméstica, donde además la energía solar alimenta sistemas de calefacción y electrónicos de uso doméstico. La aplicación de estas tecnologías responde a las demandas de la región en donde se desarrolla el estudio. Se pueden observar estas en la Figura 2.

Figura 2. Distribución geográfica de los estudios

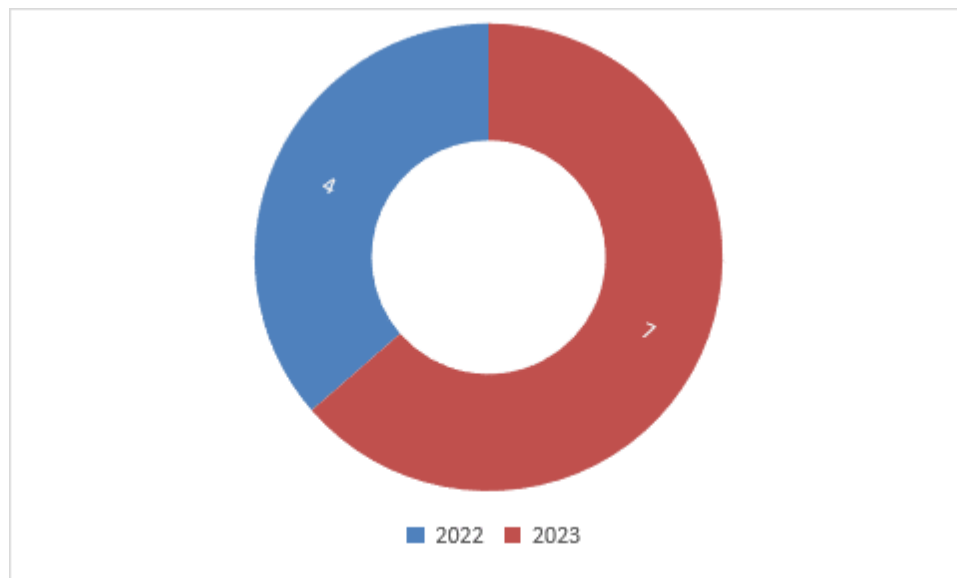


Nota. Autoría propia

La mayoría de los estudios se agruparon en las regiones agrícolas de España e India, mientras en Kenia y Marruecos se presenta un solo estudio por región. El estudio

que explora el uso de una bomba de agua impulsada por energía solar en la calefacción doméstica se ubica en China.

Figura 3. Distribución de los estudios por año de publicación



Nota. Autoría propia

Con relación al año de publicación de los estudios, se observa que la mayoría de las publicaciones se centran en el año 2023, mientras que durante el 2022 solo 4 estudios exploraron el uso de la energía solar para la alimentación de bombas solares, tal como se observa en la Figura 3.

4. Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo explorar la integración del uso de energía solar en los sistemas

de bombeo de agua, con un enfoque en las tecnologías utilizadas y el contexto de implementación. Los resultados apuntan a que la integración de los sistemas de energía solar debe ser realizada a través de la evaluación de las necesidades y limitaciones características del entorno en donde se instala, teniendo especial consideración en las condiciones ambientales y atmosféricas que podrían suponer una baja en la producción de la energía solar. Asimismo, se deben implementar

soluciones que integren estos factores con la demanda hídrica, el presupuesto y los beneficios esperados, siempre apuntando a una optimización de la eficiencia energética, ya sea en el proceso de captación de energía o la optimización del gasto energético. Las soluciones para lograrlo pueden ser desde el diseño de sistemas de compensación sencillos hasta la programación de controladores especializados.

Otros estudios aplicados en diferentes contextos apuntan a la misma dirección en relación con la optimización energética y la mejor captación de energía solar (Abdullahi et al., 2021; Alipour et al., 2021; Angadi et al., 2021; Atsu et al., 2021; Delgadillo et al., 2022), resaltando la necesidad de “desconectarse de la red” en favor de generar de forma sostenible energía limpia de uso doméstico, urbano y empresarial, reduciendo la huella de carbono a la par que se reducen los costos derivados del consumo eléctrico generado por hidrocarburos.

Se concluye que el estudio de la integración de la energía solar en los sistemas de bombeo de agua ha sido principalmente enfocado en la

industria agraria, en la cual se ha priorizado lograr una mayor eficiencia energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles y adoptar sistemas autónomos de costos reducidos elaborando soluciones tecnológicas en el diseño de sistemas y programación de controladores.

Finalmente, el uso de energía solar en los sistemas de bombeo de agua es un campo en crecimiento, que promete reducir el impacto ambiental de actividades industriales y enfrentar el calentamiento global a la par que se obtienen beneficios económicos para los sectores de interés. En el futuro, se espera alcanzar mayor desarrollo e innovación, así como la integración de inteligencias artificiales en los esfuerzos de mejora de desempeño y eficiencia de los sistemas basados en energía solar.

Bibliografía

Abdullahi, M. M., Mas'ud, A. A., Mas'ud, I. A., Ardila-Rey, J. A., Muhammad-Sukki, F., Karim, R., Saudi, A. S. M., Bani, N. A., & Wirba, A. V. (2021). A review of building integrated photovoltaic: Case study of tropical climatic regions. *International Journal of Power*

- Electronics and Drive Systems, 12(1), 474-488. <https://doi.org/10.11591/ijped.s.v12.i1.pp474-488>
- Aguilar-Jiménez, J. A., Hernández-Callejo, L., Suástegui-Macías, J. A., Alonso Gómez, V., García-Álvaro, A., Maján-Navalón, R., & Obregón, L. J. (2023). Energy and Economic Analysis of Renewable Energy-Based Isolated Microgrids with AGM and Lithium Battery Energy Storage: Case Study Bigene, Guinea-Bissau. *Urban Science*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/urbansci7020066>
- Alhawsawi, E. Y., Habbi, H. M. D., Hawsawi, M., & Zohdy, M. A. (2023). Optimal Design and Operation of Hybrid Renewable Energy Systems for Oakland University. *Energies*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/en16155830>
- Alipour, M., Salim, H., Stewart, R. A., & Sahin, O. (2021). Residential solar photovoltaic adoption behaviour: End-to-end review of theories, methods and approaches. *Renewable Energy*, 170, 471-486. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.128>
- Angadi, S., Yaragatti, U. R., Suresh, Y., & Raju, A. B. (2021). Comprehensive review on solar, wind and hybrid wind-PV water pumping systems-an electrical engineering perspective. *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, 6(1), 1-19. <https://doi.org/10.24295/CPSS-STPEA.2021.00001>
- Artal-Sevil, J. S., Ballestín-Bernad, V., Lujano-Rojas, J., Dufo-López, R., & Bernal-Agustín, J. L. (2023). Modeling of a stand-alone solar photovoltaic water pumping system for irrigation. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 21(6), 662-667. <https://doi.org/10.24084/repqj.21.443>
- Artal-Sevil, J. S., Vazquez-Pulido, T., Bea-Alvarez, S., & Dufo-López, R. (2023). Effect of cloud transits in a stand-alone solar photovoltaic water pumping system. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 21(6), 677-682. <https://doi.org/10.24084/repqj.21.449>
- Atsu, D., Seres, I., & Farkas, I. (2021). The state of solar PV and performance analysis of different PV technologies grid-connected installations in Hungary. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110808>
- Benítez-Leyva, L. V., De la Rosa-Andino, A. A., Jácome-Cadena, J. F., & Paredes-

- Palomeque, C. R. (2014). Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma, a través de Análisis de Procesos Jerárquicos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 18-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93231102004>
- Carricondo-Antón, J. M., Jiménez-Bello, M. A., Juárez, J. M., Tomas, A. R., & González-Altozano, P. (2023). Optimization of an isolated photovoltaic water pumping system with technical-economic criteria in a water users association. *Irrigation Science*, 41(6), 817-834. <https://doi.org/10.1007/s00271-023-00859-6>
- Delgadillo, J., Monterrey, G., Aguilar, J., & Casaño, R. (2022). Photovoltaic technology employment in Peru. A literature review. *Engineering Solid Mechanics*, 10(4), 387-398. <https://doi.org/10.5267/j.esm.2022.5.001>
- Durin, B., Margeta, J., Durin, B., & Margeta, J. (2017). A new concept for using solar photovoltaic energy in urban water supply systems. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(6), 47-61. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2017-06-04>
- Gevorkov, L., Domínguez-García, J. L., & Romero, L. T. (2023). Review on Solar Photovoltaic-Powered Pumping Systems. *Energies*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/en16010094>
- Hilali, A., Mardoude, Y., Essahlaoui, A., Rahali, A., & Ouanjli, N. E. (2022). Migration to solar water pump system: Environmental and economic benefits and their optimization using genetic algorithm Based MPPT. *Energy Reports*, 8, 10144-10153. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.08.017>
- Hmidet, A., Subramaniam, U., Elavarasan, R. M., Raju, K., Diaz, M., Das, N., Mehmood, K., Karthick, A., Muhibbullah, M., & Boubaker, O. (2021). Design of Efficient Off-Grid Solar Photovoltaic Water Pumping System Based on Improved Fractional Open Circuit Voltage MPPT Technique. *International Journal of Photoenergy*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4925433>
- Ibraheam, E. H., & Aslan, S. R. (2023). Solar photovoltaic water pumping system approach for electricity generation and irrigation: review. *Diagnostyka*, 24(2). <https://doi.org/10.29354/diag/165849>
- Kar, B. N., Samuel, P., Mallick, A., & Pradhan, J. K. (2023). Grid-Connected Solar PV Fed BLDC Motor Drive for Water

- Pumping System. Distributed Generation and Alternative Energy Journal, 38(5), 1477-1504.
<https://doi.org/10.13052/dgaej2156-3306.3856>
- Kumar, L. A., Lakshmiprasad, C. N., Ramaraj, G., & Sivasurya, G. (2022). Design, simulation of different configurations and life-cycle cost analysis of solar photovoltaic-water-pumping system for agriculture applications: Use cases and implementation issues. Clean Energy, 6(2), 1100-1117.
<https://doi.org/10.1093/ce/zkac018>
- Mahinda, M. W., Wanjiru, E. M., & Njiri, J. G. (2023). Optimal control of a grid-connected photovoltaic agricultural water pumping system. Journal of Engineering and Applied Science, 70(1).
<https://doi.org/10.1186/s44147-023-00256-y>
- Margeta, J., & Durin, B. (2017). Innovative approach for achieving sustainable urban water supply system by using solar photovoltaic energy. Ingeniería e Investigación, 37(1), 58-67.
<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v37n1.57983>
- Mindú, A. J., Capece, J. A., Araújo, R. E., & Oliveira, A. C. (2021). Feasibility of utilizing photovoltaics for irrigation purposes in moamba, mozambique. Sustainability (Switzerland), 13(19).
<https://doi.org/10.3390/su131910998>
- Mustafa, M., & Malik, M. (2023). Factors Hindering Solar Photovoltaic System Implementation in Buildings and Infrastructure Projects: Analysis through a Multiple Linear Regression Model and Rule-Based Decision Support System. Buildings, 13(7).
<https://doi.org/10.3390/buildings13071786>
- Navarro-González, F. J., Pardo, M. Á., Chabour, H. E., & Alskaf, T. (2023). An irrigation scheduling algorithm for sustainable energy consumption in pressurised irrigation networks supplied by photovoltaic modules. Clean Technologies and Environmental Policy, 25(6), 2009-2024.
<https://doi.org/10.1007/s10098-023-02486-3>
- Nisha, R., & Sheela K, G. (2022). Metaheuristic Algorithm Based Maximum Power Point Tracking Technique Combined With One Cycle Control For Solar Photovoltaic Water Pumping Systems. Frontiers in Energy Research, 10.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.902443>
- Oliver, J. S., David, P. W., Balachandran, P. K., & Mihet-Popa, L. (2022). Analysis of Grid-Interactive PV-Fed

- BLDC Pump Using Optimized MPPT in DC-DC Converters. Sustainability (Switzerland), 14(12).
<https://doi.org/10.3390/su14127205>
- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z. et al. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. Syst Rev 5, 210(2016).
<https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Saady, I., Karim, M., Bossoufi, B., Motahhir, S., Adouairi, M. S., Majout, B., Lamnadi, M., Masud, M., & Al-Amri, J. F. (2021). Optimization for a photovoltaic pumping system using indirect field oriented control of induction motor. Electronics (Switzerland), 10(24).
<https://doi.org/10.3390/electronics10243076>
- Zhou, C., Riaz, A., Wang, J., Zhang, J., & Xu, L. (2023). Photovoltaic Thermal Heat Pump Assessment for Power and Domestic Hot Water Generation. Energies, 16(19).
<https://doi.org/10.3390/en16196984>