



Desarrollo de baterías verdes para el almacenamiento de energía en proyectos de gestión hídrica

Development of green batteries for energy storage in water management projects

Rodríguez-Angeles Hedda Nayeli^{1*}, Cabanillas Agreda Carlos Alberto¹; Rengifo Ríos Ronnie¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

Hedda Nayeli Rodríguez-Angeles  <https://orcid.org/0009-0002-9986-5444>

Carlos Alberto Cabanillas-Agreda  <https://orcid.org/0000-0003-4269-949X>

Ronnie Ríos-Rengifo  <https://orcid.org/0009-0003-9884-4825>

Artículo Original

Recibido: 17 de agosto de 2025

Aceptado: 27 de noviembre de 2025

Resumen

El cambio hacia sistemas energéticos sostenibles, que incluyen mecanismos eficientes de almacenamiento, resulta fundamental para hacer frente a los retos del cambio climático y fomentar un desarrollo en armonía con el entorno natural. Este trabajo revisa el estado actual de las investigaciones sobre nuevas tecnologías en baterías ecológicas, especialmente las de flujo redox, las reciclables de litio y las que usan hidrógeno verde. También se destacan las soluciones innovadoras que ofrecen y su capacidad para reducir los impactos ambientales. Para desarrollar este estudio, se realizó un análisis sistemático de artículos científicos en la base de datos Scopus, usando métodos bibliométricos y seleccionando solo la información más relevante. Los resultados muestran que estas baterías tienen un gran potencial para mejorar el uso de las energías renovables y para apoyar el almacenamiento de energía en proyectos hídricos. La incorporación de baterías verdes podría transformar la gestión del agua, generando beneficios económicos y ambientales a largo plazo. Aun así, es necesario seguir investigando para superar los desafíos técnicos y financieros, y así avanzar hacia un futuro energético más sostenible y resiliente.

Palabras clave: Almacenamiento de Energía; Batería Verde; Gestión de baterías; Batería de Litio; Hidrógeno Verde

Abstract

The shift toward sustainable energy systems, including efficient storage mechanisms, is essential to address the challenges of climate change and foster development in harmony with the natural environment. This paper reviews the current state of research on new green battery technologies, especially redox flow batteries, recyclable lithium batteries, and those using green hydrogen. It also highlights the innovative solutions they offer and their ability to reduce environmental impacts. To develop this study, a systematic analysis of scientific articles in the Scopus database was conducted, using bibliometric methods and selecting only the most relevant information. The results show that these batteries have great potential to improve the use of renewable energy and to support energy storage in water projects. The incorporation of green batteries could transform water management, generating long-term economic and environmental benefits. Even so, further research is needed to overcome technical and financial challenges and thus move toward a more sustainable and resilient energy future.

Keywords: Energy Storage; Green Battery; Battery Management; Lithium Battery; Green Hydrogen

*Autor para correspondencia: E. mail: t1512300721@unitru.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2025.45.02.11>

Citar como:

Rodríguez-Angeles, H. N., Cabanillas-Agreda, C. A., & Rengifo-Ríos, R. (2025). Development of green batteries for energy storage in water management projects. *REBIOL*, 45(2), 64–80.



1. Introducción

La preocupación creciente por el cambio climático y la transición hacia un sistema energético más sustentable y ecológico es esencial, dado que convierte la búsqueda de soluciones energéticas ecológicas y limpias en una prioridad mundial. En este contexto, para Gullifa et al. (2024), las baterías ecológicas, al proporcionar una opción más respetuosa con el medio ambiente y sostenible en comparación con las tecnologías tradicionales y según Alonso (2022), podrían aportar de manera significativa a la reducción del impacto del carbono en la industria energética. De esta manera, para García et al. (2023), la implementación de baterías verdes y/o ecológicas para el almacenamiento de energía en proyectos de gestión del agua será esencial como investigación, ya que de acuerdo con Gonnet et al. (2023), facilitará la exploración de como optimizar el almacenamiento de energía renovable, un requerimiento esencial para asegurar una transición eficaz hacia fuentes de energía más ecológicas y limpias.

Para Gevorkov et al. (2023), en la búsqueda constante de soluciones sostenibles para enfrentar los problemas relacionados con el suministro de agua, la incorporación de nuevas tecnologías se ha vuelto una prioridad. Un ejemplo de lo mencionado, para Gonnet et al. (2023), una de estas innovaciones es el uso de energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo, una alternativa con gran potencial porque combina la eficiencia de captar y almacenar energía solar con la necesidad de asegurar un acceso confiable al agua potable de forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Según Mindú (2021), el objetivo de esta propuesta no solo es reducir la dependencia de fuentes de energía tradicionales, sino también responder a las crecientes preocupaciones sobre el impacto ambiental que tienen los métodos convencionales de almacenamiento energético.

Por su parte, Alotto et al. (2023) señalan que contar con una tecnología eficaz de almacenamiento de energía (ES) ayuda a compensar las variaciones que generan las fuentes renovables, mejora la eficiencia y aumenta la autonomía de las plantas energéticas. En la misma línea, Angadi et al. (2021) destacan que el uso de baterías ecológicas ofrece una oportunidad única para disminuir el consumo de materiales no renovables, como el cobalto, que se utiliza en las baterías tradicionales. Por su parte Páez (2023) advierte que la extracción de estos materiales tiene un alto costo ambiental y social, y que además su escasez representa un riesgo importante; por eso, es fundamental investigar alternativas basadas en elementos más abundantes y menos dañinos, como el sodio o las baterías de flujo. Finalmente, Arias et al. (2022) señalan que avanzar en esta línea no solo impulsa la sostenibilidad, sino que también podría facilitar el acceso equitativo a tecnologías de almacenamiento energético, reduciendo la desigualdad en países en desarrollo. Aguilar-Jiménez et al. (2023), en años recientes, el empleo de fuentes de energía renovables como la eólica y la solar ha crecido. No obstante, para utilizar de forma más eficaz estas fuentes de energía intermitentes, resulta imprescindible aplicar tecnologías apropiadas de almacenamiento de energía.

En este sentido, Shan et al. (2022) nos dice que para que estas soluciones sean realmente efectivas, se requiere usar tecnologías de almacenamiento de energía que puedan durar más tiempo. Deng (2023), a pesar de que las baterías de iones de litio son las más estudiadas, son más apropiadas para el almacenamiento de energía de duración corta y media. No obstante, su precio continúa siendo un obstáculo para su puesta en marcha a gran escala. Méndez-Jurjo et al. (2021), Las baterías de flujo redox son otra opción en investigación para el almacenamiento de energía de larga duración, ya que su diseño posibilita que la

potencia y la energía se incrementen de manera independiente, lo que las transforma en aplicaciones versátiles.

Ejecutar el estudio sobre este asunto también posee un considerable potencial económico. Nina Paco et al. (2024), La implementación de tecnologías más sustentables para el almacenamiento de energía podría crear nuevas posibilidades comerciales e inversión en áreas vinculadas con la energía renovable, la producción de baterías ecológicas y la administración eficaz de recursos acuáticos. Además, Gamio (2017), al incrementar la eficacia energética y disminuir gastos, los proyectos de administración del agua podrían tornarse más competitivos, lo que podría agilizar su puesta en marcha en varias regiones del planeta, particularmente en aquellos países donde la infraestructura energética aún es insuficiente o está en proceso de desarrollo.

Dicho esto, la investigación contribuye a la búsqueda de alternativas de desarrollo de baterías verdes y/o sustentables para el almacenamiento de energía para proyectos de gestión hídrica. Por este motivo nos planteamos las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los estudios actuales sobre el desarrollo de baterías verdes y/o sustentables para el almacenamiento de energía?, ¿Cuáles son los usos actuales de las baterías verdes y/o sustentables en la aplicación de almacenamiento de energía para distintos proyectos, especialmente en proyectos de gestión hídrica? Como tal, el objetivo es investigar el estado actual de los estudios centrados en la integración de esta nueva tecnología, además resaltar cómo dicho desarrollo de investigación en el tema de baterías verdes y/o sustentables puede contribuir a una aplicación más ecológica.

El análisis realizado en este artículo ha identificado estudios de investigación relevantes que han contribuido en el estudio de las baterías en su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía. La mayoría de la literatura utilizada en esta

investigación es de naturaleza conceptual más que empírica, lo que indica el estudio del desarrollo de baterías verdes y/o sustentables aún se encuentra en sus primeras etapas. No obstante, se espera que este estudio brinde apoyo a académicos, profesionales y responsables de políticas en la comprensión del estado actual del arte sobre el tema. Además, busca contribuir a los procesos de decisión y promover los estudios empíricos enfocados en el desarrollo de baterías verdes y/o sustentables como equipos amigables con el medio ambiente, así como en sus implicaciones para la gestión de proyecto hídricos. Como resultado, la realización de esta investigación contribuirá a nuevas investigaciones y estudios que se realicen en un futuro.

2. Materiales y Métodos

Extracción de Literatura Relevante

Para reconocer e identificar la investigación existente sobre el uso de nuevas tecnologías que contribuyan con la conservación del medio ambiente, especialmente el desarrollo de baterías verdes para el almacenamiento de energía, en el contexto de proyectos de gestión hídrica, y con el objetivo de responder a nuestras preguntas de investigación, se realizó una revisión sistemática de la literatura utilizando una taxonomía crítica. Para esto, se hizo una búsqueda estructurada de palabras clave en la base de datos Scopus y citas de Elsevier, ya que según Fahimnia et al. (2019), es una fuente ampliamente reconocida y utilizada para el mapeo de literatura, pero hasta el momento se brindó más énfasis a la base de datos de Scopus. Aunque existen otras bases de datos disponibles en la web, se optó por Scopus, ya que, según Charles et al. (2022), es la mejor opción debido a que ofrece métricas de citas consistentes y gran precisión en la búsqueda de autores e instituciones. Además, por Martín-Martín et al. (2018), sabemos que esta base de datos tiene la ventaja de contar con una

amplia disponibilidad de artículos en áreas como negocios, economía, administración y ciencias sociales en general.

Para realizar la revisión sistemática de la literatura relevante en esta investigación, utilizamos una búsqueda a través de palabras clave. Esto se hizo empleando la siguiente combinación en el campo de "Palabras clave": ("Energy Storage", "Green Battery", "Battery Management System", "Lithium Battery" y "Green Hydrogen") Título del artículo, Resumen. La búsqueda se limitó específicamente a artículos de revistas publicados en inglés. Estas palabras clave se aplicaron en los apartados de título, resumen y palabras clave de cada publicación. Además, se consideraron trabajos publicados entre los años 2023 y 2025, ya que debido a ser un tema nuevo las investigaciones más relevantes se encuentran entre los años antes mencionados, pero vale tener en cuenta que además se usaron bibliografías complementarias en un rango más grande de años. Se obtuvieron 150 documentos, los cuales fueron analizados mediante técnicas bibliométricas. Estos registros se sometieron a un análisis de co-ocurrencia utilizando el software VOSviewer, especializado en análisis bibliométrico.

A continuación, se revisaron los 150 registros iniciales, y se seleccionaron aquellos que consistían en artículos de investigación completos, publicados y revisados por pares. Esto resultó en una muestra de 70 artículos, los cuales fueron sometidos a una revisión manual aplicando criterios de inclusión y exclusión. Nos enfocamos únicamente en aquellos trabajos que abordaban palabras clave relacionadas con el desarrollo de Baterías Verdes para el Almacenamiento de Energía en Proyectos de Gestión Hídrica, lo que redujo la selección final a 40 artículos. Estos 40 artículos fueron sometidos a un análisis bibliométrico o temático. Los criterios aplicados para obtener información relevante se mantuvieron

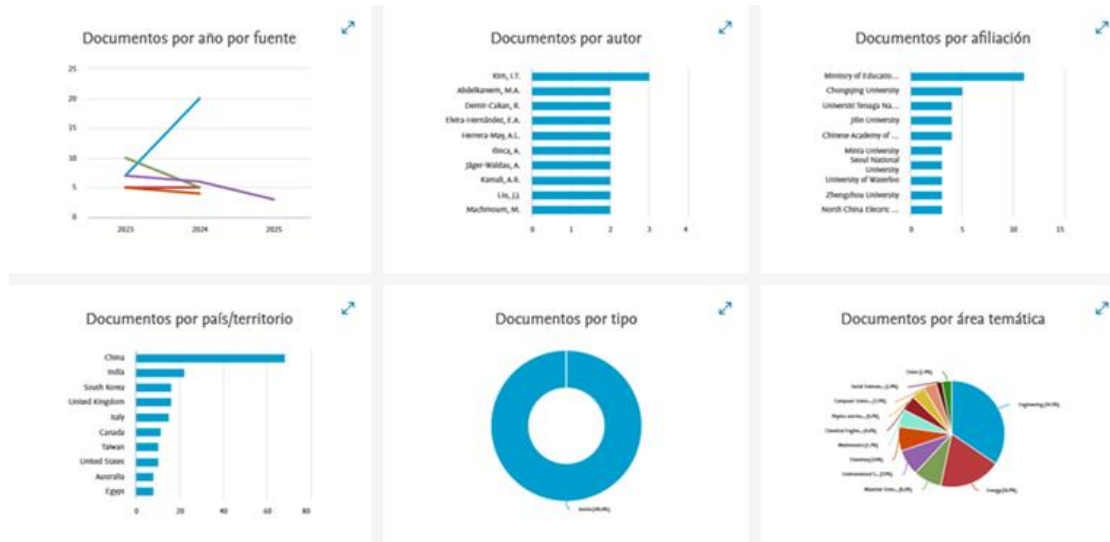
deliberadamente amplios, con el fin de captar un panorama general sobre los temas de interés actuales y futuros entre los investigadores.

La aplicación de estos criterios para identificar material relevante se mantuvo intencionalmente amplia, permitiéndonos obtener una visión general de los temas de interés actuales y futuros en el campo. Sin embargo, esto resultó en un número bajo de resultados, con un total de 150 documentos. Podemos observar, en la Figura 1, el diagrama de flujo que se tuvo en consideración al momento de realizar el análisis bibliográfico en la base de datos de Scopus, así mismo en la Figura 2, observamos la co-ocurrencias de los artículos en base a las palabras claves usadas para realizar la consulta de información en la base de datos.

Por su parte, en la Figura 3, observamos gráficos del análisis a toda la data descargada con anterioridad de la base de datos de Scopus.

Figura 3

Gráficos sobre trabajos de investigación completos, publicados y revisados mostrando registro por autor, por afiliación, por país, por tipo y área temática. Scopus (06 noviembre, 2024)



Inclusión y exclusión de artículos de investigación sobre el desarrollo de Baterías Verdes para el Almacenamiento de Energía en Proyectos de Gestión Hídrica.

Inclusión de Artículos

Los criterios considerados para la inclusión de los artículos, fueron los siguientes:

Los artículos debían abordar los temas de "Energy Storage", "Green Battery", "Battery Management", "Lithium Battery" y "Green Hydrogen", como cuestión principal.

Se tuvo en cuenta la literatura existente, incluyendo trabajos conceptuales, empíricos, estudios de caso o experimentales, que se enfocaran en la integración de baterías verdes para el almacenamiento de energía para proyectos de gestión hídrica. Los estudios incluidos en el análisis fueron aquellos publicados en inglés entre los años 2023 y 2025.

Se excluyeron los artículos que:

Trataron los temas de "Almacenamiento de energía" y "Baterías verdes" por separado, sin enfocarse en su integración. Eran artículos o literatura incompleta. Aunque se etiquetaron como artículos de investigación, se descubrió que los registros correspondían a otros tipos de publicaciones, como editoriales.

Resultados obtenidos de la búsqueda

Dando cumplimiento al objetivo e interrogantes se presenta:

Análisis bibliométrico de la base de datos ¿Cuáles son los estudios actuales sobre el desarrollo de baterías verdes para el almacenamiento de energía en proyectos de gestión hídrica? Para Liu et al. (2011), el análisis bibliométrico es una herramienta de investigación valiosa para identificar las tendencias globales en el ámbito académico y para prever posibles direcciones futuras de la investigación.

Mediante el análisis bibliométrico, este documento destaca las características y tendencias de los estudios que integran el desarrollo de baterías verdes y/o

sustentables para el almacenamiento de energía en proyectos de gestión hídrica.

El número de publicaciones sobre Almacenamiento de Energía y Baterías verdes tuvo una ligera disminución del año 2023 al 2024 y del año 2024 al 2025 el número de publicaciones cae de empicada, ya que actualmente estas investigaciones son escasas, como se observa en la Figura 4.

En las Figuras 5 y 6, se compara los recuentos de documentos producidos por países, podemos ver que los países con mayor publicación en el tema de

acuerdo a las palabras claves son China (68), India (22), Corea del Sur (16), Reino Unido (16), Italia (15), Canadá (11), Taiwán (10), Estados Unidos (10), siendo el ranking dominado por China.

En la Figura 7, se observa los artículos registrados por afiliación, Siendo el Ministerio de Educación de la República Popular de China (11) quien lidera el Ranking, le sigue la Universidad de Chongqing (5), Universidad Nacional Tenaga (4), Universidad de Jilin (4), Academia de ciencias de China (4) y el resto con publicaciones de entre 3 y 1.

Figura 4

Artículos publicados sobre el tema entre los años 2023 y 2025. Scopus (06 noviembre, 2024).

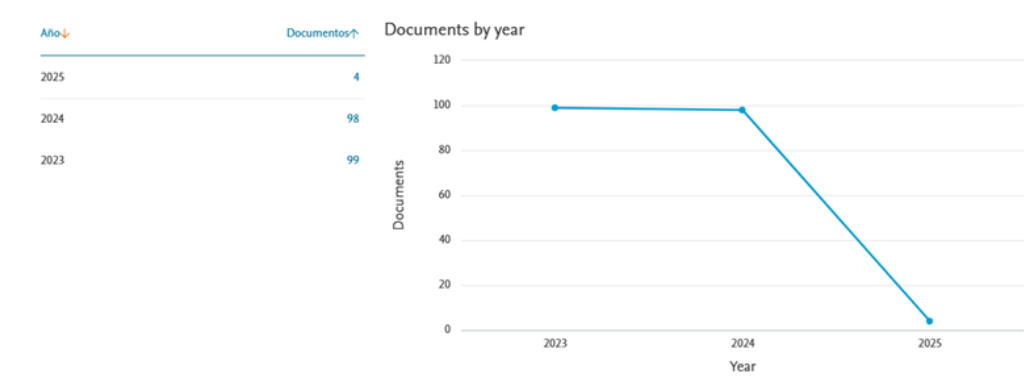


Figura 5

Artículos producidos por país. Scopus (06 noviembre, 2024).

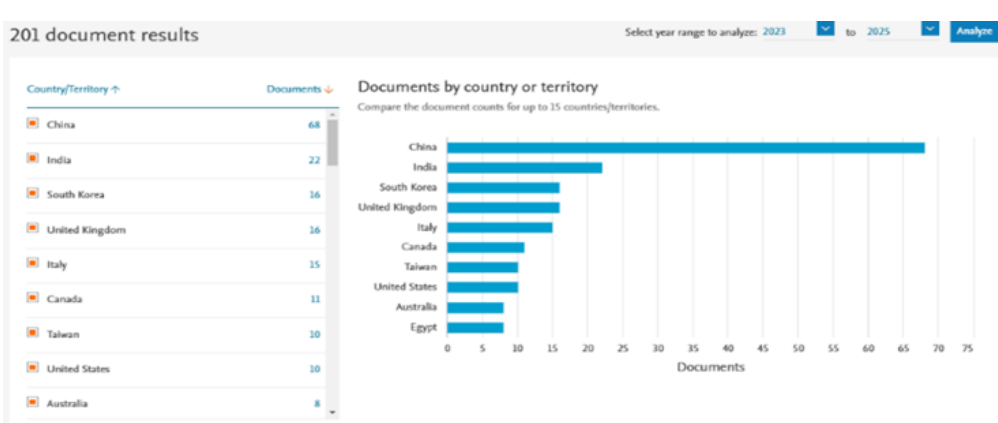


Figura 6

Artículos producidos por país analizados con Vosviewer-Scopus. Red de coautoría de países. Scopus (06 noviembre, 2024).

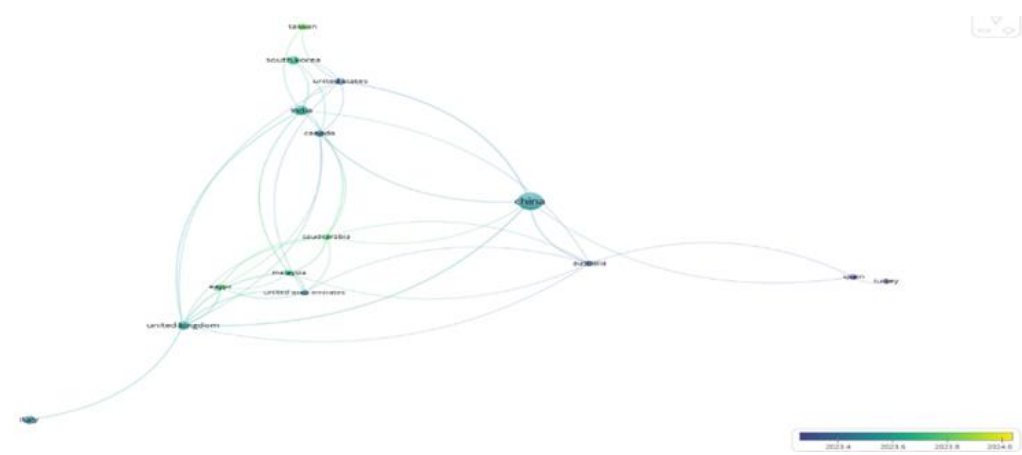


Figura 7

Documentos por Afiliación analizados en Scopus 2024.

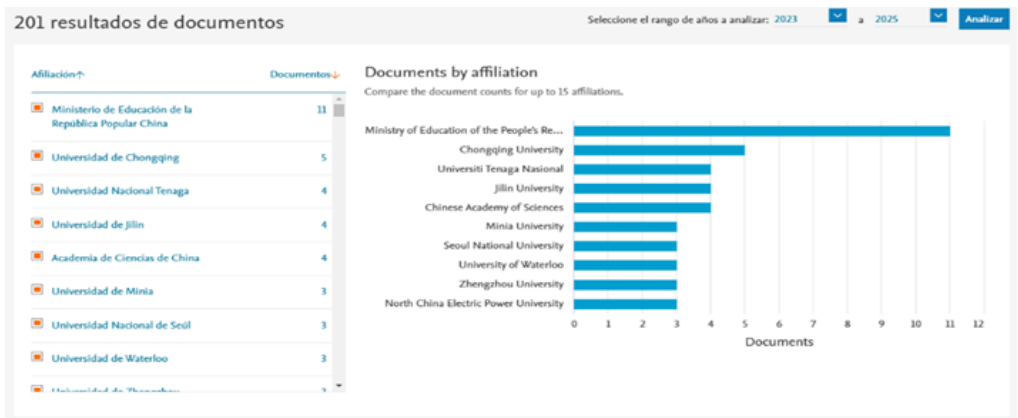


Figura 8

Red de Co-ocurrencia con palabras claves. Scopus (06 Noviembre, 2024).

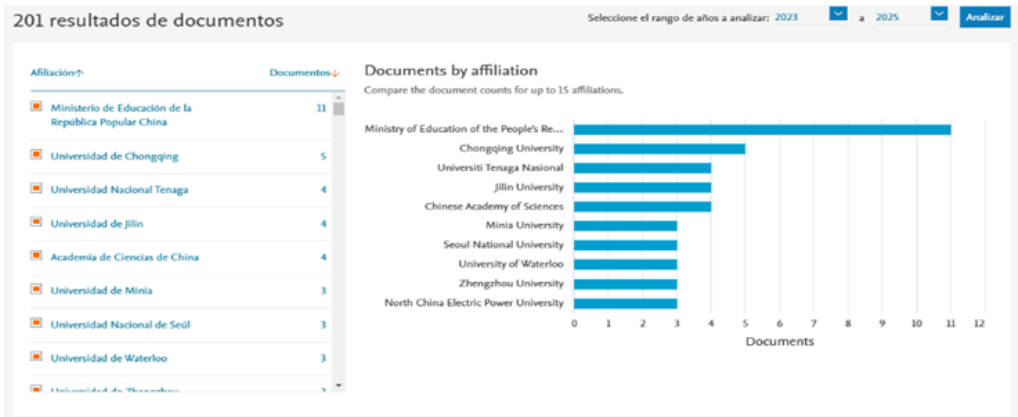


Figura 9

Visualización de Densidad con palabras claves. VOSviewer (06 noviembre, 2024).

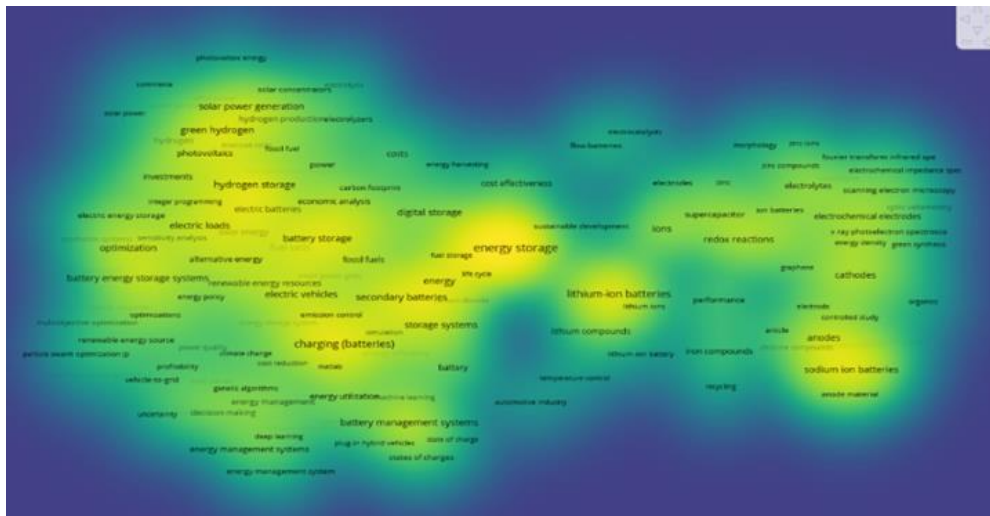


Figura 10

Ejemplo de la visualización de archivos usados en el artículo, haciendo uso de Zotero como gestor bibliográfico



En la Figura 8, se puede observar que de las 2 564 palabras clave, 156 alcanzaron el umbral. Es decir, fueron 156 palabras claves como fuerza total de co-ocurrencias. Elegimos las palabras clave con la mayor fuerza de enlace total. Por su parte en la Figura 9, el gráfico de densidad de las visualizaciones a los documentos, en donde el color amarillo se vuelve más intenso en donde hay más cantidad de información, teniendo que las palabras clave principales fueron de mucha ayuda para encontrar esta cantidad.

En la Figura 10, se puede observar que también se hizo uso del gestor bibliográfico Zotero. Según Roa et al.

(2022), el principal beneficio de Zotero radica en su constante cambio, con múltiples actualizaciones mensuales. Ya que, desde zotero.org podemos ingresar al espacio de descarga, en el que tendremos que instalar tanto la versión de escritorio como el conector web. Zotero identifica nuestro sistema operativo (Mac, Windows o Linux) y el navegador y nos proporciona directamente las versiones apropiadas para nuestro equipo.

3. Resultados y Discusión

Es esencial contar con sistemas de almacenamiento de energía para apoyar los proyectos de gestión del agua, ya que esto asegura un suministro constante y eficiente. Además, contribuye a minimizar los impactos del cambio climático, fortalece la habilidad de los sistemas para ajustarse a los desafíos y permite un uso más efectivo de los recursos, particulares.

Introducción de las Baterías Verdes en la Gestión de Recursos Hídricos

Según Gonnet (2023), los sistemas de almacenamiento de energía permiten una mejor gestión de las fuentes renovables, ya que ajustan en tiempo real la generación y el consumo, evitando el desperdicio de energía y ofreciendo apoyo al sistema eléctrico en momentos de baja producción o alta demanda. Por su parte, Jayal et al. (2010) destacan que, ante los desafíos relacionados con el suministro de agua, la adopción de tecnologías innovadoras se ha vuelto una prioridad para avanzar hacia soluciones más sostenibles. Se muestra como una alternativa factible la inclusión de energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo, y también se puede contemplar la energía eólica como una opción complementaria. Angadi et al. (2021), la fusión de la energía solar y los sistemas de bombeo de agua se ha transformado en un campo de estudio esencial, motivado por la necesidad de crear soluciones energéticas eficaces y sostenibles que puedan cubrir la creciente necesidad de agua en comunidades urbanas y rurales.

Así pues, se busca una alternativa de almacenamiento de energía para suministrar estos sistemas, tal como las baterías, que, para Cepeda et al. (2021), las baterías son aparatos de almacenaje de energía que funcionan a través de principios electroquímicos, o sea, a través de reacciones químicas que liberan electrones para generar corriente eléctrica. Por esto los progresos

actuales han facilitado la creación de baterías recargables de gran potencia y amplia capacidad de almacenaje, que a su vez funcionan con fuentes de energía renovables. Según Oliveria et al. (2021), las baterías han servido como almacenamiento de energía eléctrica por más de un siglo, y han desempeñado múltiples funciones, tales como en vehículos eléctricos, calculadoras científicas, robots, sistemas de energía renovable y en la optimización de la eficiencia energética, entre otras.

Por ello, Bello et al. (2023), dice que la implementación de tecnología solar en una bomba de agua es un magnífico ejemplo de cómo podemos optimizar la utilización de los recursos naturales existentes para incrementar la eficiencia, ya que según la IEA (2019), la implementación de tecnologías solares más económicas supone un gran beneficio a largo plazo para la humanidad, con un efecto directo en la reducción del cambio climático.

Baterías verdes y sus beneficios ambientales frente a baterías convencionales

Para Meng (2024), en primer lugar, una batería verde es una batería que guarda electrones verdes, los producidos por energías renovables como la eólica o solar. Así pues, para que una batería sea sustentable, todos los elementos de su ciclo de vida deben ser sustentables. De esta forma para Sánchez-Díez et al. (2021), las baterías de flujo Redox son una opción distinta a las baterías tradicionales, ya que facilitan el almacenamiento de energía en

grandes cantidades. Estas baterías poseen el beneficio de poder incorporar módulos externos para incrementar su capacidad de almacenaje, lo que las convierte en una alternativa adaptable y escalable para cubrir las necesidades energéticas más elevadas. Además, siguiendo con Meng (2024), para que una batería sea sustentable, los minerales de ella deben ser

totalmente reciclables y las industrias deben tener la capacidad de convertir los materiales de una batería antigua en una nueva en múltiples ocasiones. Solo mediante esta circularidad se podrá obtener una batería genuinamente ecológica que contribuya a abandonar los combustibles fósiles y transitar hacia fuentes de energía más sustentables. Según Oliveira et al. (2021) Las baterías de flujo brindan beneficios como una mayor duración, menor toxicidad y la habilidad de sostener ciclos constantes de carga y descarga durante todo el día.

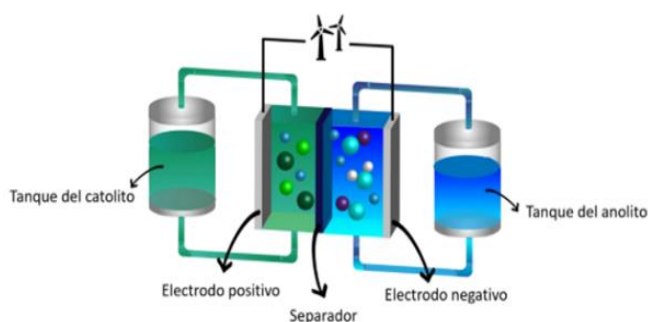
Tecnologías de baterías ecológicas para almacenar energía

Baterías de flujo redox.

De acuerdo con Ferret R. (2024), las baterías de flujo redox (BFR) son dispositivos electroquímicos que facilitan acumular energía y su distribución cuando se requiera. Para Páez (2023), una batería de flujo es una clase de batería recargable donde el electrolito, que alberga especies electroactivas disueltas en alta concentración, se desplaza a través de una celda que convierte la energía química en eléctrica y, al contrario. El electrolito se guarda en depósitos externos, mientras que las disoluciones son impulsadas a través de los reactores electroquímicos, donde ocurren la transferencia de electrones y la oxidación y disminución de los pares redox.

Figura 11

Esquema de una celda de Flujo. Páez (2023)



Según Guacaneme et al. (2024), la principal característica de las baterías de flujo es que su capacidad de potencia y la cantidad de energía que pueden manejar son independientes entre sí. En este tipo de baterías, la energía almacenada depende de la cantidad de electrolitos utilizados, mientras que la potencia está determinada por el área activa de la celda. Por su parte, Sánchez-Díez et al. (2021) señalan que las baterías de flujo ofrecen importantes ventajas para los proyectos agrícolas, ya que representan una alternativa eficiente y duradera para el almacenamiento de energía renovable.

De acuerdo con Wei He et al. (2021), este tipo de baterías permite almacenar grandes cantidades de energía generada a partir de fuentes renovables, como la solar y la eólica. Esto para Méndez-Jurjo (2021), resulta perfecto para actividades agrícolas que requieren un abastecimiento de energía continuo para sistemas de riego, regulación de la temperatura o maquinaria. Otro beneficio principal de las baterías de flujo en la industria agrícola es su sostenibilidad y su reducido impacto en el medio ambiente. Para Páez (2023), estas baterías generalmente emplean electrolitos reciclables, lo que disminuye los residuos tóxicos y las dificultades vinculadas al término de su duración, lo cual es particularmente relevante en actividades agrícolas que aspiran a reducir su impacto ecológico. Además, para Méndez-Jurjo (2021), son más seguras que otras tecnologías de almacenaje energético, dado que poseen un riesgo reducido de incendio o explosión, lo que resulta vital en áreas rurales y en ambientes delicados donde se llevan a cabo actividades de agricultura.

Baterías de iones de litio reciclables y sostenibles

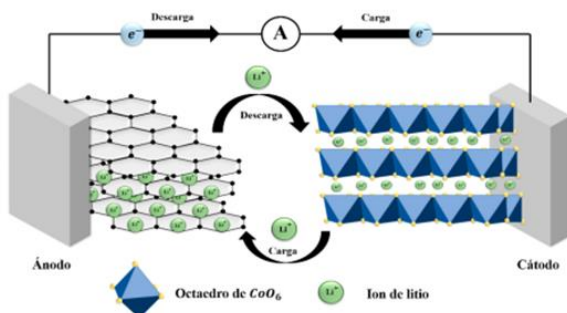
Para Deng (2023), una batería de iones de litio es un dispositivo diseñado para almacenar energía eléctrica.

Durante la descarga, los iones de litio viajan hasta el cátodo desde el ánodo a través de un electrolito que también contiene este elemento químico en su composición. Para López et al. (2024), estas baterías forman parte de un grupo de acumuladores recargables altamente utilizados y apreciados en los últimos años por su larga duración y alta densidad energética.

Según Quintero (2021), con el óxido cobalto de litio (LiCoO_2) como material catódico utilizado, se puede explicar el funcionamiento de la batería (Figura 12): Durante el proceso de carga, un voltaje aplicado provoca la oxidación de los centros metálicos presentes en el cátodo. Este material libera algunos de sus iones de litio, los cuales atraviesan el electrolito y se alojan en el ánodo, que habitualmente está compuesto de grafito. Dichos iones permanecen en el ánodo hasta la etapa de descarga, en la que el material del cátodo se reduce gracias al flujo de electrones en un circuito externo, permitiendo que los iones de litio (Li^+) salgan del ánodo y se reintegren en el cátodo. Zhang (2011), el flujo de electrones a través del circuito externo, que ocurre durante los procesos de oxidación y reducción en el cátodo, está directamente vinculado con la corriente eléctrica empleada.

Figura 12

Diagrama visual del proceso de una batería de ion de Litio. Rodríguez, et al (2023)



Para Hannan et al. (2018), el uso creciente de baterías de iones de litio se debe a su alta densidad y eficiencia energética, además de su prolongada vida útil. En comparación con las baterías de plomo-ácido, su densidad energética puede ser hasta tres veces mayor. Adicionalmente, para Jones et al. (2021), el desarrollo de baterías de iones de litio más sustentables requiere la utilización de materiales menos dañinos y procedimientos de producción más ecológicos.

Baterías de hidrógeno y sus aplicaciones en la gestión hídrica.

Para Meng et al. (2019), el hidrógeno es un combustible verde, es también el elemento más abundante en el universo. Carece de color, sabor y olor, además de ser no tóxico. La energía generada a partir del hidrógeno no produce emisiones perjudiciales como óxidos de nitrógeno o monóxido de carbono. Según Zarzuelo (2022), una desventaja principal, radica en la complejidad de su almacenamiento y transporte. Además, el hidrógeno es altamente inflamable y tiende a oxidarse con facilidad. Además, Robson et al. (2023), señala como una desventaja que la electrólisis resulta más cara en comparación con los métodos basados en combustibles fósiles, lo que hace necesario desarrollar alternativas para producir hidrógeno verde de manera masiva. Sin embargo, para Gullifa et al. (2024), las baterías de hidrógeno ofrecen un enorme potencial sostenible, ya que contribuyen a disminuir los gases responsables del efecto invernadero y las emisiones contaminantes en el ámbito energético. El hidrógeno según Yang y Lu (2023), representa cerca del 75 % de la materia en el Universo, el hidrógeno no se encuentra disponible de manera utilizable directamente en la naturaleza, por lo que debe ser producido artificialmente.

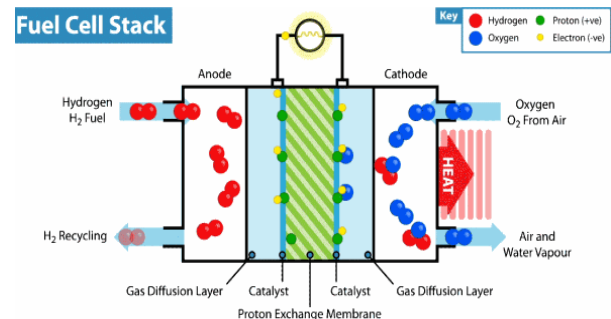
Para Robson et al. (2023), el hidrógeno es completamente sostenible, ya que no produce emisiones contaminantes durante su combustión, y su sencillo almacenamiento permite su uso en el futuro, esto da inicio a las baterías de hidrógeno, ya que, para García et al. (2023), su capacidad de proporcionar energía limpia y confiable a instalaciones esenciales, como plantas desalinizadoras, estaciones de bombeo y plantas de tratamiento de aguas residuales, constituye uno de sus mayores beneficios en proyectos hídricos. Kovač et al. (2021), dado que estas instalaciones operan constantemente, requieren un elevado consumo de energía. Las baterías de hidrógeno pueden almacenar energía que viene de fuentes renovables, como la solar y la eólica, para ser utilizada en momentos de mayor demanda o cuando la producción es limitada.

Khalid et al. (2016), la integración entre la gestión del agua y las baterías de hidrógeno ofrece ventajas recíprocas. Por ejemplo, el agua desalinizada puede emplearse en la electrólisis para generar hidrógeno. A su vez, Aranibar & Olarte (2024), dicen que el hidrógeno producido puede ser almacenado y utilizado para abastecer sistemas energéticos en áreas con acceso limitado a agua o electricidad, estableciendo una sinergia que mejora la sostenibilidad de las operaciones.

Por otro lado, Arias et al. (2022), en términos económicos, la exportación de hidrógeno verde puede representar una fuente significativa de ingresos, al tiempo que fomenta la inversión y el empleo en industrias relacionadas. Para Zhou et al. (2022), desde una perspectiva ambiental, su uso reduce las emisiones de gases de efecto invernadero al sustituir al hidrógeno convencional derivado de combustibles fósiles.

Figura 13

Diagrama visual del proceso de una batería de Hidrógeno Verde. AleaSoft Energy Forecasting (2020).



Además, Deago et al. (2022), en la minería, el empleo del hidrógeno tiene el potencial de reducir considerablemente la contaminación del transporte. Esto, junto con la producción de energía alternativa, podría mejorar la calidad de vida al disminuir la presencia de contaminantes perjudiciales. Asimismo, Muñoz-Fernández et al. (2022), al disminuir la dependencia de combustibles fósiles importados y aprovechar fuentes renovables propias, los países refuerzan su seguridad energética y reducen su exposición a las variaciones en los precios del petróleo, asegurando un suministro más estable. Por su parte la Asociación Peruana de Hidrógeno (2023), ha lanzado iniciativas para fomentar el desarrollo de parques industriales y promover el uso del hidrógeno verde en el país, marcando avances importantes para superar obstáculos y consolidar esta fuente de energía sostenible en Perú.

Impacto de las Baterías verdes en la Gestión Sostenible del Agua.

Gullifa et al. (2024), La integración de baterías verdes, como las de hidrógeno, litio reciclable y flujo redox, en proyectos de gestión hídrica está transformando la manera en que se opera en este sector. Históricamente, Muñoz-Fernández et al. (2022),

muchas infraestructuras de suministro, tratamiento y distribución de agua han dependido de fuentes de energía basadas en combustibles fósiles para asegurar un funcionamiento continuo. Sin embargo, Robson et al. (2023), esta dependencia no solo incrementa los costos operativos, sino que también genera una huella de carbono significativa, incompatible con los objetivos globales de sostenibilidad.

Según Gonnet et al. (2023), las baterías verdes permiten almacenar la energía renovable generada por fuentes como la solar y la eólica, garantizando su disponibilidad en momentos de baja producción. Cárdenas y Molina (2022) destacan que esto resulta especialmente útil en sistemas de tratamiento de aguas residuales y plantas desalinizadoras, ya que estos requieren un suministro constante de energía para funcionar de manera eficiente. Además, Koscina (2022) señala que, al independizar el funcionamiento de estos sistemas de la variabilidad de los precios del petróleo y el gas, se logra una mayor estabilidad y previsibilidad en los costos energéticos.

El impacto económico de las baterías verdes en la gestión del agua va más allá de la reducción de emisiones de carbono. Según Arias et al. (2022), estas tecnologías también mejoran de forma notable la eficiencia operativa y permiten un ahorro considerable a lo largo de las distintas etapas de los proyectos. Aranibar y Olarte (2024) explican que una de las principales razones de ello es la capacidad de las baterías verdes para estabilizar el suministro energético y reducir las variaciones de costos asociadas con las fuentes tradicionales. Por ejemplo, Rivera-Rivera (2023) señala que las plantas de tratamiento de agua que incorporan sistemas de almacenamiento pueden funcionar durante las horas pico utilizando la energía previamente acumulada, evitando así pagar tarifas eléctricas más elevadas. Además, Morales et al. (2023) añaden que estas

tecnologías también contribuyen a disminuir los costos de mantenimiento y reparación, ya que el uso de energía más estable y limpia reduce el desgaste de los equipos mecánicos y eléctricos.

Finalmente, Arias et al. (2022) destacan que la adopción de baterías verdes puede volverse aún más accesible gracias a diferentes incentivos financieros, como subsidios del gobierno o programas de financiamiento verde. Esto reduce la barrera económica inicial y acelera la implementación de estas tecnologías en proyectos de agua. Deago et al. (2022), las baterías verdes no solo representan una solución innovadora para reducir la dependencia de combustibles fósiles, sino que también proporcionan una ventaja económica significativa al mejorar la eficiencia operativa de los sistemas de gestión hídrica. Su adopción marca un paso clave hacia un futuro donde el agua y la energía puedan gestionarse de manera verdaderamente sostenible.

4. Conclusiones

La tecnología de las baterías verdes y/o sustentables muestran un gran potencial para mejorar los proyectos de gestión hídrica. Las baterías de flujo redox, las de iones de litio reciclables y las basadas en hidrógeno verde representan alternativas sostenibles para el almacenamiento de energía en proyectos de gestión hídrica. Su aplicación muestra un gran potencial para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, disminuir el impacto ambiental y optimizar el uso de la energía en sistemas hídricos, como las estaciones de bombeo utilizadas tanto en la agricultura como en el suministro de agua potable para la población.

El artículo ha evidenciado que el desarrollo e implementación de baterías verdes o sostenibles tienen el potencial de transformar la gestión hídrica, al ofrecer una alternativa viable y respetuosa con el medio ambiente para el almacenamiento de energía.

Aunque los estudios actuales aún se encuentran en fases iniciales, muestran avances prometedores que podrían acelerar la transición hacia sistemas hídricos más sostenibles. La adopción de estas tecnologías no solo contribuiría a reducir el impacto ambiental y aumentar la resiliencia frente al cambio climático, sino que también podría impulsar el desarrollo económico al generar nuevas oportunidades de inversión y empleo en sectores vinculados con la energía y la gestión del agua.

Este artículo se fundamentó principalmente en literatura conceptual, lo que evidencia la necesidad de realizar más investigaciones empíricas que permitan validar los beneficios y enfrentar los desafíos asociados con la implementación de las baterías verdes, como los altos costos iniciales, la infraestructura requerida y la aceptación por parte de las industrias y los gobiernos. Se recomienda que futuros estudios se enfoquen en desarrollar modelos de negocio que faciliten la integración de estas tecnologías, así como en analizar la eficiencia comparativa de los distintos tipos de baterías bajo condiciones reales y evaluar su impacto económico y ambiental a largo plazo.

5. Contribución de los autores

HNRA: Concepción y diseño del estudio, interpretación de resultados, redacción y revisión crítica del contenido, aprobación definitiva del manuscrito

CACA: Concepción y diseño del estudio, revisión de la versión final.

RRR: Análisis e interpretación de resultados.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

7. Referencias Bibliográficas

Aguilar-Jiménez, J., et al. (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>
- Aleasoft Energy Forecasting. (2020). *El hidrógeno verde es el combustible del futuro*. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-hidrogeno-verde-es-el-combustible-del-futuro/>
- Alonso, A. (2022). *Evaluación de la demanda de agua necesaria para una revolución energética basada en el hidrógeno verde* [Tesis]. <http://hdl.handle.net/10317/11708>
- Alotto, P., et al. (2013). Redox flow batteries for the storage of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.001>
- Angadi, S., et al. (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/CPSSSTPEA.2021.00001>
- Aranibar, R., & Olarte, D. (2024). Hidrógeno verde: Abriendo las puertas a un futuro energético sostenible en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 13, A-004. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202401.a004>
- Arias, P., et al. (2022). Green hydrogen future. *Dyna*, 97(6), 567–569. <https://doi.org/10.6036/10685>
- Bello, C., et al. (2023). Hydrological impacts of dam regulation for hydropower production: The case of Lake Sibinacocha, Southern Peru. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101319>
- Cárdenas, G., & Molina, F. J. (2022). Alternativas para tratar lodos originados en sistemas de tratamiento de aguas residuales: Una revisión. *Ingeniería*, 27(3). <https://doi.org/10.14483/23448393.17945>
- Cepeda, S., et al. (2021). Description of the characteristics of the different types of batteries used in electric vehicles. *Polo del Conocimiento*, 7(4). <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3830>
- Charles, V., et al. (2022). Un análisis crítico de la integración de blockchain e inteligencia artificial para la cadena de suministro. *Annals of Operations Research*, 327, 7–47. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05169-w>
- Deago, H., et al. (2022). Investment opportunities that can be generated by the production and distribution of green hydrogen for Panama. In *8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)* (pp. 632–639). <https://doi.org/10.1109/IESTEC54539.2022.00105>
- Deng, D. (2023). Li-ion batteries: Basics, progress, and challenges. *Energy Science & Engineering*, 3(5), 385–418. <https://doi.org/10.1002/ese3.95>
- Fahimnia, B., et al. (2019). Behavioral operations and supply chain management: A review and literature mapping. *Decision Sciences*, 50(6), 1127–1183. <https://doi.org/10.1111/deci.12369>
- Ferret, R. (2024). *Baterías de flujo redox para un futuro verde*. CICenergiGUNE. <https://cicenergigune.com/es/blog/baterias-flujo->

[redox-futuro-verde](#)

- Gamio, P. (2017). Energía: Un cambio necesario en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 1, 93–135. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201701.004>
- García, A., et al. (2023). Análisis de la integración del hidrógeno en sistemas híbridos de energía renovable en el marco de escenarios energéticos. *Revista EIA*, 21(41), 1–27. <https://doi.org/10.24050/reia.v21i41.1715>
- Gevorkov, L., et al. (2023). Review on solar photovoltaic-powered pumping systems. *Energies*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/en16010094>
- Gonnet, A., et al. (2023). Energía solar fotovoltaica para producir hidrógeno por electrólisis. *Ingenio Tecnológico*, 5. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2663842006/>
- Guacaneme, J. A., et al. (2014). Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. *Información Tecnológica*, 25(2), 175–188. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200020>
- Gullifa, S., et al. (2024). ¿Baterías de hidrógeno vs. Pb-ac? Comparativa de baterías hidrógeno vs. Pb-ac en el área logística: Hacia una economía sostenible con hidrógeno. *INNOVA UNTREF. Revista Argentina de Ciencia y Tecnología*, 13. <https://revistas.untref.edu.ar/index.php/innova/article/view/2164>
- H2Perú (Asociación Peruana de Hidrógeno). (2023). *Propuesta de hoja de ruta de hidrógeno verde para el Perú*. <https://h2.pe>
- Hannan, M. A., et al. (2018). State-of-the-art and energy management system of lithium-ion batteries in electric vehicle applications: Issues and recommendations. *IEEE Access*, 6, 19362–19378. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2817655>
- International Energy Agency (IEA). (2019). *Renewables 2019: Analysis and forecast to 2024*. <https://doi.org/10.1787/b3911209-en>
- Jayal, A. D., et al. (2010). Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2010.03.006>
- Jones, B., et al. (2021). *Cambios en la demanda de minerales: Análisis de los mercados del cobre y el litio, y sus implicaciones para los países de la región andina*. CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47136/S2100341_es.pdf
- Khalid, F., et al. (2016). Analysis and assessment of an integrated hydrogen energy system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(19), 7960–7967. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.12.221>
- Koscina, L. (2022). *Hidrógeno verde y baterías de litio como alternativa de almacenamiento energético en plantas fotovoltaicas: Evaluación mediante análisis de ciclo de vida* [Tesis de pregrado]. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191680>
- Kovač, A., et al. (2021). Hydrogen in energy transition: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(16), 10016–10035. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.256>
- Liu, X. J., et al. (2011). Global biodiversity research during 1900–2009: A bibliometric analysis. *Biodiversity and Conservation*, 20(4), 807–826. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9981-z>
- López, V., et al. (2024). *Reciclaje y reúso de baterías de litio en América Latina y el Caribe: Revisión analítica de prácticas globales y regionales*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0005660>
- Martín-Martín, A., et al. (2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. *Journal of Informetrics*, 12(4), 1160–1177. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002>
- Méndez-Jurjo, et al. (2021). Design of sprinkling irrigation system with wind pumping in garlic cultivation. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(2).
- Meng, S. (2024). The path to making batteries green. <https://physics.aps.org/articles/v17/72>
- Meng, Y., et al. (2019). Recent progress in low-temperature proton-conducting ceramics. *Journal of Materials Science*, 54, 9291–9312. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03559-9>
- Mindú, A. J., et al. (2021). Feasibility of utilizing photovoltaics for irrigation purposes in Moamba, Mozambique. *Sustainability*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131910998>
- Molina, J., et al. (2023). Study of the thermal comfort and the energy required to achieve it for housing modules in the environment of a high Andean rural area in Peru. *Energy and Buildings*, 281, 112757. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112757>
- Morales, S., et al. (2023). Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Chiquicha Centro, cantón Pelileo, Ecuador. *Investigación y Desarrollo*, 18(1). <https://doi.org/10.31243/id.v18.2023.2386>
- Muñoz-Fernández, A., et al. (2022). Análisis del potencial del uso de hidrógeno verde para reducción de emisiones de carbono en Colombia. *Fuentes: El Reventón Energético*, 20(1), 57–72. <https://doi.org/10.18273/revfue.v20n1-2022006>
- Nina-Paco, I., et al. (2024). Comparativa de baterías de litio, sodio e hidrógeno en la descarbonización de las economías. *Polo del Conocimiento*, 9(4), 1313–1336. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i4.6996>
- Oliveira, A., et al. (2021). A green hydrogen economy for a renewable energy society. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 33, 100701. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100701>
- Páez, M. T. (2023). *Baterías de flujo de alta densidad de energía basadas en mediadores redox* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.70375>

- Quintero, V. (2021). Baterías de ion litio: Características y aplicaciones. *I+D Tecnológico*, 17(1), 14–22.
<https://doi.org/10.33412/idt.v17.1.2907>
- Rivera-Rivera, M., et al. (2023). Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con diseño energético sostenible y automatizado para zonas marginadas. *DYNA Energía y Sostenibilidad*, 12(1).
<https://doi.org/10.6036/ES10814>
- Roa Contreras, L. I., et al. (2022). Gestores de referencias bibliográficas y su impacto en las investigaciones. *E-Ciencias de la Información*, 12(1), 96–113.
<https://doi.org/10.15517/eci.v12i1.47067>
- Robson, L., et al. (2023). El hidrógeno en la industria minera como fuente de energía renovable. *Revista del Medio Ambiente Minero y Minería*, 8(2), 3–12.
- Sánchez-Díez, et al. (2021). Redox flow batteries: Status and perspective towards sustainable stationary energy storage. *Journal of Power Sources*, 481, 228804.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228804>
- Shan, R., et al. (2022). Evaluating emerging long-duration energy storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112240.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112240>
- Wei, H., et al. (2021). Technologies and economics of electric energy storages in power systems: Review and perspective. *Advances in Applied Energy*, 4, 100060.
<https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100060>
- Yang, W.-C., & Lu, W.-M. (2023). Achieving net zero: An illustration of carbon emissions reduction with a new meta-inverse DEA approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4044.
<https://doi.org/10.3390/ijerph20054044>
- Zarzuelo, D. (2022). *Materiales en la batería de hidrógeno* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid].
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/58666/TFG-2451.pdf>
- Zhang, X., et al. (2011). Electrospun nanofiber-based anodes, cathodes, and separators for advanced lithium-ion batteries. *Polymer Reviews*, 51, 239–264.
- Zhou, Y., et al. (2022). Green hydrogen: A promising way to the carbon-free society. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 43, 2–13.
<https://doi.org/10.1016/j.cjche.2022.02.001>